



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA**

**MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE PEQUENOS RUMINANTES NA  
CAATINGA CEARENSE, UTILIZANDO A ESPECTROSCOPIA NIR**

**JULIETE DE LIMA GONÇALVES**

**AREIA - PB  
FEVEREIRO - 2018**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA**

**MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE PEQUENOS RUMINANTES NA  
CAATINGA CEARENSE, UTILIZANDO A ESPECTROSCOPIA NIR**

**JULIETE DE LIMA GONÇALVES**

**Zootecnista**

**AREIA - PB  
FEVEREIRO - 2018**

**JULIETE DE LIMA GONÇALVES**

**MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE PEQUENOS  
RUMINANTES NA CAATINGA CEARENSE, UTILIZANDO A  
ESPECTROSCOPIA NIR**

Tese apresentada ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba, Universidade Federal Rural de Pernambuco e Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Zootecnia.

**Área de concentração:** Nutrição Animal

**Comitê de Orientação:**

Prof. Dr. Ariosvaldo Nunes de Medeiros - Orientador  
Dr. Marco Aurélio Delmondes Bomfim  
Prof. Dr. Magno José Duarte Cândido

**AREIA - PB  
FEVEREIRO – 2018**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

G635m Gonçalves, Juliete de Lima.

Monitoramento da Nutrição de Pequenos Ruminantes na  
Caatinga Cearense, Utilizando a Espectroscopia NIR /  
Juliete de Lima Gonçalves. - Areia, 2018.  
172 f. : il.

Orientação: Ariosvaldo Nunes de Medeiros Medeiros.  
Coorientação: Marco Aurélio Delmondes Bomfim Bomfim,  
Magno José Duarte Cândido Cândido.  
Tese (Doutorado) - UFPB/CCA.

1. análise multivariada. 2. caprinos. 3. massa de  
forragem. 4. ovinos. 5. quimiometria. 6. valor  
nutricional. I. Medeiros, Ariosvaldo Nunes de Medeiros.  
II. Bomfim, Marco Aurélio Delmondes Bomfim. III.  
Cândido, Magno José Duarte Cândido. IV. Título.

UFPB/CCA-AREIA



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

PARECER DE DEFESA DO TRABALHO DE TESE

**TÍTULO:** “ Monitoramento da nutrição de pequenos ruminantes na caatinga cearense, utilizando a espectroscopia NIR”

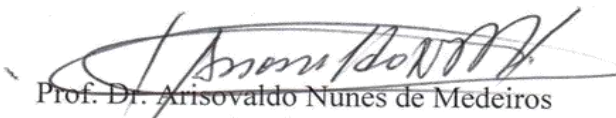
**AUTOR:** Juliete de Lima Gonçalves

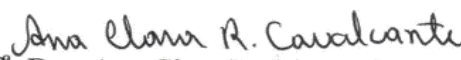
**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Ariosvaldo Nunes de Medeiros

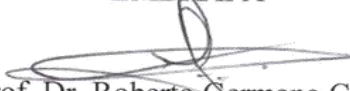
**JULGAMENTO**


**CONCEITO: APROVADO**

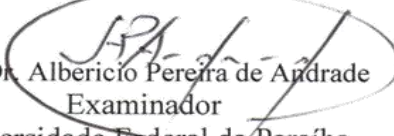
**EXAMINADORES:**

  
Prof. Dr. Ariosvaldo Nunes de Medeiros  
Presidente  
Universidade Federal da Paraíba

  
Profª. Dra. Ana Clara Rodrigues Cavalcante  
Examinadora  
EMBRAPA

  
Prof. Dr. Roberto Germano Costa  
Examinador  
Universidade Federal da Paraíba

  
Prof. Dr. Francisco Fernando Gambarra Neto  
Examinador  
EMBRAPA - CNPA

  
Prof. Dr. Alberício Pereira de Andrade  
Examinador  
Universidade Federal da Paraíba

Areia, 28 de fevereiro de 2018

## **DADOS CRURRICULARES DO AUTOR**

JULIETE DE LIMA GONÇALVES - filha de Maria Terezinha de Lima Gonçalves e João Gonçalves de Souza, nasceu em Carnaubal, Estado do Ceará, em 24 de março de 1989. Ingressou no curso de Zootecnia na turma 2006.2, na Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), obtendo o título de Bacharel em Zootecnia no dia 17 de agosto de 2011. Em fevereiro de 2011, ingressou no Programa de Mestrado em Zootecnia pela Universidade Estadual Vale do Acaraú-UVA, onde, sob orientação do Marco Aurélio Delmondes Bomfim, defendeu em 28 de fevereiro de 2013 a dissertação intitulada “Balanços Nutricionais e Nutrientes Limitantes para Ovelhas Mestiças em Pasto de Capim-Tanzânia Irrigado”. Em março de 2014, iniciou suas atividades no Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia, na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), na linha de pesquisa em Nutrição Animal sob a orientação do Professor Doutor Ariosvaldo Nunes de Medeiros.

*Aos meus pais Maria Terezinha e João Gonçalves, aos quais tenho eterna admiração, pelo exemplo de dedicação, simplicidade e força de vontade para atingir seus sonhos. É através deles que eu vejo que é possível conseguir o que se almeja. Obrigada pelo carinho, amor, pela oportunidade nos meus estudos, pois hoje o que eu sou, eu devo eternamente a vocês.*

*As minhas irmãs Joelma, Juliana e Stéfany (Tefinha) por me fazer sentir e viver o verdadeiro sentido de irmandade, companheirismo e por mostrarem que sempre posso contar com vocês. A mais nova integrante da família, minha sobrinha Julinha (minha pequena), que com gestos simples me arranca sorrisos de grande felicidade.*

*A Eduardo Lino por todo o apoio, me escutando e acalmando meu coração nos momentos difíceis, deixando minha vida mais leve.*

***Dedico.***

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pois para mim ele é meu guia, meu porto seguro, me acompanhando em todos os momentos da minha vida. A partir da sua presença foi possível seguir em frente e concluir este trabalho. Obrigada Senhor, por me conceder saúde, sabedoria, por me presentear com uma bela família, com amigos que me apoiaram durante esse percurso e por me fazer vivenciar esta experiência, a qual pôde me fazer crescer e amadurecer como profissional e pessoa.

Agradeço minha família por compreenderem minha ausência em determinados momentos, mas saibam que vocês estão sempre no meu coração.

À Universidade Federal da Paraíba - UFPB e aos professores do departamento de Zootecnia pelos ensinamentos, os quais contribuíram para minha formação acadêmica.

A CAPES pela concessão da bolsa e financiamento desse estudo.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, através do Centro Nacional de Pesquisas de Caprinos e Ovinos (CNPCO) pelo apoio cedendo os animais e laboratórios, o que tornou possível a realização da pesquisa.

A Escola Família Agrícola Dom Fragoso - EFA, em Independência - CE, em especial a Neta, Paulo, Israel, Ezim, Gustavo, Diassis, Gorete, Rosberg, Esmael, Idelzuith, Eliane, Teresa, padre Machado, padre Géó e aos alunos do curso técnico em agropecuária por terem me recebido e acolhido durante 14 meses para realização do experimento em campo. Durante esse período vocês foram minha segunda família, fazendo dos meus dias mais divertidos.

Ao Dr. Marco Aurélio Delmondes Bomfim, pela sua co-orientação, estando sempre presente nos momentos em que foram necessários, pelos conhecimentos transmitidos, conselhos e pela confiança na realização do trabalho.

Ao orientador Dr. Ariosvaldo Nunes Medeiros por ter me recebido no seu grupo de pesquisa e pela confiança na realização do trabalho de tese.

Ao Dr. Magno José Duarte Cândido pela co-orientação no trabalho de tese.

A Dr<sup>a</sup> Ana Clara Cavalcante pela prontidão em me repassar um pouco do seu conhecimento sobre forragicultura e por todas as sugestões feitas com o intuito de melhorar o trabalho desenvolvido.

Ao Dr. Diego Barcelos Galvani pelo apoio nas análises de proteína e pelas considerações feitas no trabalho de qualificação.

Ao Fabrício Ehn, meu companheiro de labuta na EFA Dom Fragoso, e Sueli pelo apoio nas coletas de campo e pela amizade. Graças ao apoio de vocês foi possível concluir o



experimento com responsabilidade, comprometimento, mas também com momentos de descontração, o que tornou o andamento das atividades com mais leveza.

A Laboratorista Dona Lidu por todo o apoio no laboratório de nutrição animal da Embrapa Caprinos e Ovinos e ao Valdécio e Marcos André por ajudarem na moagem e coleta dos espectros das amostras.

Aos meus colegas de doutorado, em especial, a galera do baiano et al., Silvana (sil), Fernanda (nanda), Fabrício (pow), Tiago (matusa), Mauro (baiano) e Danilo (apodi) pela companhia e as resenhas nos dias frios em Areia.

Aos meus amigos Marquinhos, Michel, Alexandre, Janieire, Ribamar, Dinnara, Guilherme pela disponibilidade em me ajudar, pelas contribuições sobre o trabalho e pela amizade.

Aos bolsistas da Embrapa, Shirlene, Rafaela, Bruninha, Claudinha, Yara, Helen, Erlane, Yanna, John Clay, pela amizade.

A todos, que de forma direta ou indireta, ajudaram na realização desse trabalho, meus sinceros agradecimentos.

***Muito Obrigada!***

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
Lista de Tabelas.....	x
Lista de Figuras.....	xii
Resumo Geral.....	xiv
Abstract.....	xvi
 Considerações Iniciais.....	 1
 Capítulo 1 - Referencial Teórico.....	 3
Introdução.....	4
Bioma Caatinga.....	5
Valor nutritivo do pasto de caatinga e fatores que afetam a qualidade.....	9
Métodos de avaliação da qualidade nutricional da dieta de animais em pastejo.....	14
Espectroscopia de Reflectância do Infravermelho Próximo - NIRS.....	17
Quimiometria.....	20
Uso da NIRS fecal para avaliação da qualidade do pasto de animais em pastejo.....	23
Referências bibliográficas.....	27
 Capítulo 2 - Composição Botânica e Produção de Biomassa em Área de Caatinga, no Sertão dos Inhamuns.....	 39
Resumo.....	40
Abstract.....	41
Introdução.....	42
Material e Métodos.....	43
Descrição do local do experimento.....	43
Avaliações do pasto.....	46
Determinação da massa de forragem e padrões visuais.....	47
Determinação da composição química do pasto.....	48
Análise estatística.....	49
Resultados e Discussão.....	50
Composição florística do pasto e aspectos fitossociológicos.....	50
Biomassa e cobertura da forragem.....	60
Composição nutricional do pasto.....	66
Indicadores para monitoramento da pastagem nativa de caatinga.....	72
Conclusões.....	76
Referências Bibliográficas.....	76
 Capítulo 3 - Valor nutricional da Dieta e Consumo de Pequenos Ruminantes em Pasto Nativo de Caatinga.....	 81
Resumo.....	82
Abstract.....	83
Introdução.....	84
Material e Métodos.....	85
Descrição do local.....	85
Animais, manejo e instalações.....	85
Caracterização da qualidade da dieta selecionada por pequenos ruminantes.....	86

Determinação da composição bromatológica da dieta e o consumo de caprinos e ovinos.....	87
Análise Estatística.....	88
Resultados e Discussão.....	89
Conclusões.....	98
Referências Bibliográficas.....	99
 Capítulo 4 - Monitoramento da Nutrição de Pequenos Ruminantes na Caatinga Cearense, Utilizando a Espectroscopia NIR.....	102
Resumo.....	103
Abstract.....	104
Introdução.....	105
Material e Métodos.....	106
Descrição do local e desenho experimental.....	106
Caracterização da composição da dieta selecionada por pequenos ruminantes....	109
Determinação da composição bromatológica da dieta e coleta dos espectros.....	109
Desenvolvimento dos modelos.....	111
Resultados e Discussão.....	113
Modelos de amostras individuais e compostas em equipamento NIR Foss.....	113
Análise exploratória de amostras compostas de fezes de caprinos e ovinos.....	119
Modelos de amostras compostas de fezes de caprinos e ovinos com diferentes pré-tratamentos.....	125
Modelos de amostras compostas de fezes de caprinos e ovinos com diferentes pré-processamentos.....	136
Conclusões.....	143
Referências Bibliográficas.....	144
Considerações Finais e Implicações.....	152
Anexos.....	153
Anexo A - Parecer da Comissão de Ética - CEUA.....	154

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO 1 - Referencial Teórico - Monitoramento da Nutrição de Pequenos Ruminantes na Caatinga Cearense, Utilizando a Espectroscopia NIR**

		<b>Página</b>
Tabela 1 -	Composição bromatológica de pasto nativo de caatinga analisado de forma composta ou separadamente por diversos autores nos anos de 2010 a 2016.....	13
Tabela 2 -	Similaridade de métodos usados para determinar a dieta de grandes herbívoros.....	17
Tabela 3 -	Caracterização dos comprimentos de ondas na região NIR.....	19
Tabela 4 -	Uso da técnica NIRS fecal em estudos de avaliação da dieta de animais em pastejo nos últimos cinco anos.....	26

### **CAPÍTULO 2 - Composição Botânica e Produção de biomassa em Área de Caatinga no Sertão dos Inhamuns**

Tabela 1 -	Critérios utilizados na classificação dos meses, em período chuvoso, transições chuva-seca e seca-chuva e seco, na área de caatinga em Independência - CE.....	45
Tabela 2 -	Lista florística das famílias e espécies na área de caatinga no Sertão dos Inhamuns, Ceará.....	50
Tabela 3 -	Frequência das principais espécies herbáceas presentes na área ao longo dos períodos.....	54
Tabela 4 -	Densidade e cobertura da copa de plantas arbóreas em área de caatinga no Sertão dos Inhamuns, Ceará.....	57
Tabela 5 -	Produção, disponibilidade de forragem e cobertura vegetal nos diferentes períodos em área de caatinga no Sertão dos Inhamuns, Ceará..	60
Tabela 6 -	Composição bromatológica dos estratos nos diferentes períodos em área de caatinga no Sertão dos Inhamuns, Ceará.....	67
Tabela 7 -	Atributos para classificação do grau de degradação de áreas de pastagem naturais em independência, sertão do Ceará.....	72

### **CAPÍTULO 3 - Valor nutricional da Dieta e Consumo de Pequenos Ruminantes em Pasto Nativo de Caatinga**

Tabela 1 -	Teores de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca (DIVMS) e digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria orgânica (DIVMO) da extrusa de pequenos ruminantes pastejando na caatinga, em diferentes períodos do ano.....	89
Tabela 2 -	Teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina, proteína insolúvel em detergente neutro (PDIN), proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) da extrusa de pequenos ruminantes em pasto de caatinga, em diferentes períodos do ano.....	92
Tabela 3 -	Peso corporal (PC), consumo de matéria seca (CMS), consumo de matéria seca por unidade de tamanho metabólico ( $CMS^{0,75}$ ), consumo de matéria seca por percentual de peso vivo (CMSPV), consumo de matéria orgânica (CMO) e dos nutrientes por pequenos ruminantes pastejando na caatinga, em diferentes períodos do ano.....	94

### **CAPÍTULO 4 - Monitoramento da Nutrição de Pequenos Ruminantes na Caatinga Cearense, Utilizando a Espectroscopia NIR**

Tabela 1 -	Estatística descritiva dos parâmetros avaliados em amostras de extrusas de caprinos e ovinos, pastejando na caatinga.....	116
Tabela 2 -	Modelos de calibração e validação utilizando a regressão PLS para proteína bruta (PB) e digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria orgânica (DIVMO) da dieta de caprinos e ovinos, pastejando na caatinga.....	117
Tabela 3 -	Classificação de amostras de fezes de caprinos e ovinos utilizando SIMCA.....	121
Tabela 4 -	Classificação das amostras fezes de caprinos e ovinos, por períodos, utilizando SIMCA.....	123
Tabela 5 -	Parâmetros PLS para modelos de calibração e validação de proteína bruta (PB) e digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria orgânica (DIVMO) da dieta de caprinos e ovinos, desenvolvidos com diferentes pré-tratamentos.....	126
Tabela 6 -	Classificação de amostras de fezes de caprinos e ovinos com diferentes processamentos utilizando SIMCA.....	139
Tabela 7 -	Modelos de calibração e validação utilizando a regressão de PLS para digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria orgânica (DIVMO) e proteína bruta (PB) de amostras de fezes de caprinos e ovinos com diferentes processamentos.....	140

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1 - Referencial Teórico - Monitoramento da Nutrição de Pequenos Ruminantes na Caatinga Cearense, Utilizando a Espectroscopia NIR

#### Página

Figura 1 -	Método indireto para estimar a qualidade da dieta de animais em pastejo.....	23
------------	--	----

### CAPÍTULO 2 - Composição Botânica e Produção de biomassa em Área de Caatinga no Sertão dos Inhamuns

Figura 1 -	Precipitação pluvial durante o período experimental, na EFA Dom Fragoso em Independência - CE.....	43
Figura 2 -	Imagem de satélite da área experimental.....	44
Figura 3 -	Padrões de massa de forragem em área de caatinga no Sertão dos Inhamuns.....	48
Figura 4 -	Ciclo de crescimento das espécies, na área de caatinga no Sertão dos Inhamuns, Ceará.....	56
Figura 5 -	Altura de plantas herbáceas e arbóreas em área de caatinga no Sertão dos Inhamuns, Ceará.....	59
Figura 6 -	Relação entre massa de forragem e padrões visuais em área de caatinga no Sertão dos Inhamuns, Ceará.....	66

### CAPÍTULO 3 - Valor nutricional da Dieta e Consumo de Pequenos Ruminantes em Pasto Nativo de Caatinga

Figura 1 -	Precipitação pluvial durante o período experimental na EFA Dom Fragoso em Independência - CE.....	85
------------	---	----

### CAPÍTULO 4 - Monitoramento da Nutrição de Pequenos Ruminantes na Caatinga Cearense, Utilizando a Espectroscopia NIR

Figura 1 -	Precipitação pluvial durante o período experimental, na EFA Dom Fragoso, em Independência - CE.....	107
Figura 2 -	Figura 2. Desenho experimental para o desenvolvimento dos modelos de	108

	PB e DIVMO pela técnica NIRS.....	
Figura 3 -	Figura 3. Espectros brutos de 711 amostras individuais (a) e 119 amostras compostas (b) de fezes de caprinos e ovinos pastejando na caatinga, na região de 1100 a 2500 nm.....	113
Figura 4 -	Figura 4. Espectros de 711 amostras individuais (a) e 119 amostras compostas (b) de fezes de caprinos e ovinos pastejando na caatinga pré-processados com MSC.....	114
Figura 5 -	Figura 5. Gráfico dos escores de PC-1 <i>versus</i> PC-2 das amostras individuais (a) e compostas (b) de fezes de caprinos e ovinos, pastejando na caatinga.....	115
Figura 6 -	Figura 6. Gráfico dos escores de PC-1 <i>versus</i> PC-2 das amostras compostas de fezes de caprinos e ovinos, pastejando na caatinga.....	120
Figura 7 -	Figura 7. Gráfico dos escores de PC-1 <i>versus</i> PC-2 nas amostras compostas de fezes de caprinos e ovinos, pastejando na caatinga, em diferentes períodos de coleta.....	122
Figura 8 -	Figura 8. Gráfico dos escores de PC-1 <i>versus</i> PC-2 nas amostras compostas de fezes de caprinos e ovinos, pastejando na caatinga com base na PB (a) e DIVMO (b).....	124
Figura 9 -	Figura 9. Modelos de calibração e validação de PB utilizando os pré-tratamento SNV + 2 Der (a) e (b) e <i>savitzky-golay</i> + 2 Der (c) e (d) com aplicação da seleção de variáveis.....	129
Figura 10 -	Figura 10. Peso dos coeficientes de regressão utilizando os pré-tratamentos SNV + 2 Der (a) e <i>savitzky-golay</i> + 2 Der (b).....	132
Figura 11 -	Figura 11. Modelos de calibração e validação de DIVMO utilizando os pré-tratamentos MSC (a) e (b) e SNV + 1 Der (c) e (d) com aplicação da seleção de variáveis.....	133
Figura 12 -	Figura 12. Peso dos coeficientes de regressão utilizando os pré-tratamentos MSC (a) e SNV + 1 Der (b).....	134
Figura 13 -	Figura 13. Espectros brutos de amostras de fezes de caprinos e ovinos e com aplicação do pré-tratamento MSC de amostras frescas (a), (b), secas sem moer (c), (d) e secas moídas (e) e (f).....	137
Figura 14 -	Figura 14. Gráfico dos escores de PC-1 <i>versus</i> PC-2 de amostras compostas de fezes de caprinos e ovinos, pastejando na caatinga com diferentes tipos de pré-processamentos.....	139

## **MONITORAMENTO DA NUTRIÇÃO DE PEQUENOS RUMINANTES NA CAATINGA CEARENSE, UTILIZANDO A ESPECTROSCOPIA NIR**

### **RESUMO GERAL**

O Brasil apresenta grande potencial para a atividade pecuária a pasto, em razão da expansão territorial e da diversidade da vegetação. Portanto, é necessário conhecer a qualidade da dieta selecionada e o consumo por pequenos ruminantes em pastejo para fazer a correção da alimentação e assim melhorar os índices produtivos. Objetivou-se com este estudo desenvolver modelos com a técnica NIRS, para que os mesmos sejam usados no monitoramento da qualidade da dieta de pequenos ruminantes, em pasto de caatinga. Foram avaliados também o consumo e digestibilidade dos nutrientes, bem como a avaliação do pasto, nos diferentes estratos, ao longo dos períodos avaliados. O experimento foi conduzido na Escola Família Agrícola Dom Fragoso, em Independência - CE, em uma área de 35 ha de pasto de caatinga, onde foi feita uma avaliação do pasto, qualidade da dieta e o consumo de caprinos e ovinos, no período de maio de 2014 a abril de 2015. Para avaliação da composição botânica, parâmetros fitossociológicos, cobertura do solo e vegetal, massa de forragem, definições de padrões visuais e avaliação da composição bromatológica dos diferentes estratos, a área experimental foi dividida em transectos, totalizando 246 pontos avaliados. Foram identificadas 81 espécies, distribuídas em 32 famílias, mostrando a diversidade de plantas presentes na área. As condições climáticas, relacionadas principalmente com a distribuição das chuvas, nos diferentes períodos e estratos avaliados afetaram a disponibilidade de massa de forragem, cobertura do solo e vegetal, frequência de espécies forrageiras do estrato herbáceo, bem como o valor nutricional do pasto, obtendo melhores resultados no período chuvoso. Os índices para monitoramento da pastagem nativa de caatinga trazem informações relevantes da área de pastagem e assim, constituem uma ferramenta que contribui com o melhor gerenciamento dos recursos forrageiros. Para determinação da composição bromatológica da dieta selecionada e o consumo de pequenos ruminantes, foram utilizados cinco caprinos e cinco ovinos fistulados no rúmen, onde foi realizada a coleta de extrusa, durante seis dias, mensalmente, por todo o período experimental. Para coleta das amostras fecais foram utilizadas bolsas coletoras de fezes, sendo o consumo de matéria seca obtido pela razão entre a produção fecal durante um período de 24 horas e o inverso da digestibilidade *in vitro* da matéria seca da extrusa. A partir do consumo de matéria seca foram calculados os demais nutrientes, multiplicando a quantidade de matéria seca



consumida pelo percentual de cada um dos nutrientes da extrusa. A qualidade da dieta de caprinos e ovinos foi afetada pelo período avaliado, o qual refletiu no consumo de nutrientes e na digestibilidade. O consumo de matéria seca influenciou o consumo dos demais nutrientes em ambas as espécies, caprinos e ovinos, e períodos. A digestibilidade *in vitro* da matéria seca e digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica da dieta dos ovinos foram superiores aos caprinos, porém os mesmos conseguiram manter o peso corporal. Os altos teores de proteína bruta na dieta de caprinos e ovinos na época chuvosa estão ligados em parte à fração da fibra em detergente ácido, deixando a mesma indisponível para o animal. Para a coleta dos espectros das amostras de fezes frescas e secas sem moer foi utilizado o equipamento NIR Perten® DA 7250, o qual faz uma leitura na faixa espectral de 950 a 1650 nm, com intervalo espectral de 5 nm. Já na obtenção dos espectros das amostras pré-secas e moídas, foram utilizados dois modelos diferentes de aparelhos NIR, Perten® DA 7250 e o NIR FOSS® 5000, com leitura numa faixa de 1100 a 2500 nm na região do infravermelho próximo e resolução de 2 nm. Foram escaneadas 711 amostras de fezes, sendo 336 amostras de caprinos e 375 de ovinos, onde se desenvolveu modelos com amostras compostas e individuais, com o uso de diferentes tratamentos matemáticos, análise exploratória e o uso de regressão da PLS para os modelos de calibração, validação e predição dos parâmetros de proteína bruta (PB) e digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO), com amostras de fezes em diferentes processamentos. A espectroscopia NIR, associada às técnicas de quimiometria, permitiu a construção de modelos de calibração, validação e predição capazes de quantificarem os parâmetros de PB e DIVMO da dieta de caprinos e ovinos em pastejo na caatinga, com precisão e exatidão, sendo que os modelos com amostras individuais apresentam maiores erros de previsão e precisão em relação aos modelos com amostras compostas. O uso da PCA e SIMCA mostrou que seria possível incluir ambas as espécies, ovinos e caprinos, períodos (chuvoso, transição chuva/seca, seco, transição seca/chuva) e a variação dos parâmetros de PB e DIVMO no desenvolvimento de um modelo global. Os tipos de processamento das amostras geraram espectros diferentes e mostraram que os procedimentos de secagem e moagem podem melhorar o desempenho dos modelos, assim como o uso da ferramenta de seleção dos comprimentos de ondas mais importantes. A tecnologia NIRS pode ser utilizada como ferramenta para o monitoramento da dieta de pequenos ruminantes em pasto de caatinga.

**Palavras-chave:** análise multivariada, caprinos, massa de forragem, ovinos, quimiometria, valor nutricional

## **MONITORING THE NUTRITION OF SMALL RUMINANTS IN THE CAATINGA CEARENSE, USING AN NIR SPECTROSCOPY**

### **ABSTRACT**

Brazil has great potential for pasture farming, due to the territorial expansion and the diversity of vegetation. Therefore, it is necessary to know the quality of the selected diet and the consumption by small ruminants in grazing to make the correction of the feed and thus improve the productive indexes. The objective of this study was to develop models with the NIRS technique, so that they can be used to monitor the quality of the diet of small ruminants in the pasture of caatinga. The nutrient intake and digestibility, as well as the pasture evaluation, were also evaluated in the different strata over the evaluated periods. The experiment was conducted at the Família Agrícola Dom Fragoso School, in Independência, CE, in an area of 35 ha of pasture of caatinga, where an evaluation of pasture, diet quality and consumption of goats and sheep was carried out in May 2014 to April 2015. For the evaluation of the botanical composition, phytosociological parameters, soil and plant cover, forage mass, definitions of visual patterns and evaluation of the bromatological composition of the different strata, the experimental area was divided into transects, totaling 246 evaluated points. It was identified 81 species, distributed in 32 families, showing the diversity of plants present in the area. The climatic conditions, mainly related to rainfall distribution, in the different periods and strata evaluated affected the availability of forage mass, soil and plant cover, frequency of forage species of the herbaceous stratum, as well as the nutritional value of the pasture, obtaining better results in the rainy period. The indices for monitoring the native pasture of caatinga bring relevant information from the pasture area and, thus, constitute a tool that contributes to the better management of the forage resources. To determine the bromatological composition of the selected diet and the consumption of small ruminants, five goats and five sheep were used fistulated in the rumen, where the extrusa was collected, for six days, monthly, throughout the experimental period. Fecal collection bags were used to collect fecal samples, and the dry matter intake was obtained by the ratio between fecal production during a 24 hour period and the inverse of the *in vitro* digestibility of the dry matter of the extrusa. From the dry matter consumption the other nutrients were calculated, multiplying the amount of dry matter consumed by the percentage of each of the nutrients of the extrusa. The quality of the goats and sheep diet was affected by the evaluated period, which reflected in nutrient consumption and digestibility. The dry matter intake

influenced the consumption of other nutrients in both species, goats and sheep, and periods. The *in vitro* digestibility of the dry matter and *in vitro* digestibility of the organic matter of the sheep diet were superior to the goats, but they were able to maintain the body weight. The high levels of crude protein in the diet of goats and sheep in the rainy season are linked in part to the fraction of acid detergent fiber, leaving it unavailable to the animal. The Perten® NIR equipment DA 7250 was used to collect spectra of fresh and dry feces samples without grinding, which makes a reading in the spectral range from 950 to 1650 nm, with a spectral range of 5 nm. In order to obtain spectra of pre-dried and milled samples, two different models of NIR devices, Perten® DA 7250 and FOSS® 5000 NIR were used, with a reading in a range of 1100 to 2500 nm in the near infrared region and resolution of 2 nm. 711 samples of feces were scanned, 336 samples of goats and 375 of sheep, where models were developed with composite and individual samples, using different mathematical treatments, exploratory analysis and the use of PLS regression for the calibration models, validation and prediction of the parameters of crude protein (CP) and *in vitro* digestibility of organic matter (IVDMO), with fecal samples in different processes. NIR spectroscopy, combined with chemometrics techniques, allowed the construction of calibration, validation and prediction models able of quantifying the parameters of CP and IVDMO of the diet of goats and sheep on grazing in the caatinga, with precision and accuracy, and the models with individual samples present greater prediction and precision errors than models with composite samples. The use of PCA and SIMCA showed that it would be possible to include both species, sheep and goats, periods (rainy, rainy/dry transition, dry, dry/rainy transition) and variation of PB and IVDMO parameters in the development of a global model. The types of processing of the samples generated different spectra and showed that the drying and grinding procedures can improve the performance of the models, as well as the use of the tool of selection of the wavelengths of more important waves. The NIRS technology can be used as a tool to monitor the diet of small ruminants in caatinga rangeland.

**Key words:** chemometrics, forage mass, goats, multivariate analysis, nutritional value, sheep

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A produção animal no Nordeste é em sua maioria praticada em sistemas extensivos, tendo a produção animal condicionada a disponibilidade de forragem e o valor nutricional do pasto de caatinga. No entanto, a vegetação da caatinga sofre grandes variações ao longo do ano, tanto em quantidade quanto em qualidade, o que provoca instabilidade na atividade pecuária. Além das variações quanto à composição nutricional do pasto e disponibilidade de forragem, há consequências na digestibilidade e o consumo dos nutrientes, o que pode resultar em ganhos de pesos menores ou até perda de peso.

Apesar de suas limitações, tem grande capacidade de manter uma produção pecuária, principalmente se associada às técnicas de fenação, ensilagem, suplementação e técnicas de manipulação da caatinga. No entanto, é necessário se conhecer a qualidade da dieta selecionada por pequenos ruminantes em pastejo para posteriormente definir as estratégias de manejo alimentar.

Algumas técnicas têm sido utilizadas para obter uma amostragem representativa da dieta selecionada pelos animais, porém, em razão da diversidade de espécies forrageiras para outras regiões da caatinga e as mudanças climáticas ao longo dos anos, não se pode extrapolar estas recomendações obtidas em um único estudo. Assim, seria necessário a realização de vários trabalhos, em diferentes sítios de vegetação, com repetições ao longo dos anos para se ter uma melhor estimativa da qualidade da dieta e assim propor estratégias de suplementação mais adequadas. Contudo, esta metodologia torna laboriosa com o uso de animais fistulados, necessitando o desenvolvimento de técnicas mais rápidas, fáceis e dinâmicas para monitoramento da qualidade da dieta de animais em pasto nativo.

Entre as técnicas já desenvolvidas destaca-se o uso da espectroscopia da reflectância na região do infravermelho próximo (NIRS), com base na composição das fezes para estimar a qualidade da dieta. O método se destaca por ser fácil, rápido, econômico, não destrói a amostra e não requer uso de reagentes. Com a possibilidade de aplicação nas mais diversas condições ecofisiográficas, a técnica NIRS pode constituir importante ferramenta para o monitoramento do *status* nutricional de caprinos e ovinos em pastejo na caatinga e assim incrementar a produção de pequenos ruminantes na região.

A tese é composta por quatro capítulos, onde o capítulo 1 refere-se à revisão de literatura, contextualizando o bioma caatinga e suas peculiaridades em termos de disponibilidade e valor nutricional da forragem e as técnicas utilizadas para determinar a qualidade do pasto, com ênfase no uso da espectroscopia do infravermelho próximo - NIRS.

No capítulo 2 foram expostos os dados referentes à composição botânica do pasto, parâmetros fitossociológicos, cobertura do solo e vegetal, disponibilidade de massa de forragem e valor nutricional do pasto nos diferentes estratos (monocotiledôneas, dicotiledôneas, arbustivo/arbóreo e serapilheira) e períodos (chuvoso, transição chuva/seca, seco e transição seca/chuva) em área de caatinga, enfatizando a dinâmica destes, ao longo dos períodos avaliados. No capítulo 3 será apresentada a composição da qualidade da dieta selecionada por caprinos e ovinos em pastejo na caatinga, bem como as estimativas de consumo dos nutrientes e digestibilidade nos diferentes períodos avaliados. O capítulo 4 refere-se ao desenvolvimento dos modelos para a predição da qualidade da dieta de caprinos e ovinos em pastejo na caatinga, com o uso de tratamentos matemáticos e outras ferramentas da quimiometria, bem como os aspectos relacionados à importância do processamento das amostras na construção dos modelos.

Com os resultados obtidos a partir deste trabalho será possível desenvolver uma ferramenta de assessoria nutricional para pequenos ruminantes em pastejo na caatinga, além do conhecimento da dinâmica da estrutura, composição e produção do pasto, o que auxiliará as estratégias de manejo que integrem a produtividade e a sustentabilidade do sistema de produção.

## **CAPÍTULO 1**

---

Referencial Teórico

Monitoramento da Nutrição de Pequenos Ruminantes na Caatinga Cearense,  
Utilizando a Espectroscopia NIR

## Introdução

Na região Nordeste, a vegetação predominante é a Caatinga, a qual se constitui a principal fonte de alimentação dos rebanhos, principalmente daqueles criados em sistemas extensivos. A Caatinga é um bioma complexo, onde a mesma pode apresentar diferentes fisionomias, com uma diversidade de vegetação, compostas por estratos divididos em arbustivo, arbóreo e herbáceo (Araújo Filho, 2013). No entanto, a irregularidade espaço-temporal no regime das chuvas afetam o crescimento e desenvolvimento vegetal, tendo como consequências as limitações quantitativas e qualitativas do pasto, ao longo do ano, o que faz com que os animais passem por períodos com baixa oferta de forragem. Assim, é necessária a correção da alimentação dos animais para obter melhores índices produtivos e, consequentemente, aumentar os lucros no sistema de produção.

A dificuldade de se conhecer a qualidade da dieta dos animais criados a pasto, principalmente em pastagens heterogêneas, dar-se pela capacidade de seleção dos mesmos, aumentando a complexidade em função da diversidade de espécies de plantas forrageiras. Agreil et al. (2005) relataram que o processo de escolha das espécies forrageiras não é tão simples e que a quantidade e a qualidade da massa disponível não são preditores suficientes para estimar as escolhas dos animais.

Várias técnicas têm sido utilizadas para obter uma amostragem representativa da dieta selecionada pelos animais. Elas incluem a amostragem formada pela simulação de pastejo, o uso de gaiolas de exclusão e o uso de animais fistulados no esôfago ou rúmen (Carvalho et al., 2007). Porém, em razão da diversidade de espécies forrageiras em outras regiões da caatinga, e as mudanças climáticas ao longo dos anos, não se pode extrapolar estas recomendações obtidas em um único estudo. Assim, seria necessário a realização de vários estudos, em diferentes sítios de vegetação, com repetições ao longo dos anos para se ter uma melhor estimativa da qualidade da dieta e assim propor estratégias de suplementação mais adequadas. No entanto, estas metodologias são laboriosas, necessitando do desenvolvimento de técnicas mais rápidas, fáceis e dinâmicas para o monitoramento da qualidade da dieta de ruminantes em pasto nativo.

Dentre estes métodos, a espectroscopia de reflectância do infravermelho próximo (NIRS) associada ao uso da quimiometria vem sendo utilizada para avaliar a qualidade da dieta, tais como os parâmetros de proteína bruta (PB), digestibilidade da matéria seca (DMS) e da matéria orgânica (DMO) dos animais em pastejo a partir das fezes (Coughenour e Makkar, 2012). A informação química contida nas fezes possui forte relação com a dieta

consumida pelo animal, assim pode ser relacionada à ingestão e a digestibilidade. Essa relação é feita a partir do desenvolvimento de modelos de regressão multivariada, onde se estuda correlações entre os espectros (variáveis independentes) e a análise de referência (variáveis dependentes) (Stuth et al., 2003).

Lyons e Stuth (1992) e Leite e Stuth (1995) foram os pioneiros na utilização da técnica NIRS fecal, determinando indiretamente a qualidade das dietas de bovinos e caprinos, respectivamente. A espectroscopia NIR tem mostrado alto potencial para estimar a composição dos alimentos, no entanto, um dos desafios em aplicar a técnica é construir um banco de dados relevante, com variações suficientes para representar o material a ser analisado.

Assim, objetivou-se com esta revisão elucidar as características do bioma Caatinga e seu potencial para a produção de ruminantes, bem como os fatores que interferem na qualidade das espécies forrageiras, as metodologias utilizadas para determinar a qualidade da dieta selecionada por animais a pasto e o uso da técnica NIRS como ferramenta alternativa no controle do *status* nutricional de animais em pastejo.

## **Bioma Caatinga**

O bioma Caatinga localiza-se, principalmente, na região Semiárida do Nordeste do Brasil, onde ocupa 844,453 mil km<sup>2</sup>, representando 11% do território brasileiro (MMA, 2017). A região caracteriza-se por uma precipitação média de 800 mm/ano, temperatura média de 23 a 27 °C, insolação média de 2800 h/ano (Souza, 2012) e solos com restrições físicas e químicas que comprometem a produção vegetal. O clima predominante é do tipo BSw'h, tropical seco, conforme a classificação de Köppen, com evaporação excedendo a precipitação, podendo chegar a 2.000 mm/ano (Lima et al., 2015) e apresenta irregularidade na distribuição das chuvas, concentrando o período chuvoso em três a quatro meses do ano. Essa caracterização de período seco e chuvoso não segue exatamente uma regra, pois se tem observado chuvas esporádicas em períodos considerados sem precipitações, o que leva a rebrota, principalmente das espécies dos estratos arbustivo e arbóreo, que passarão a compor a dieta dos animais.

A vegetação da caatinga compreende espécies arbustivas e arbóreas, de pequeno e médio porte, e herbáceas de ciclos anuais (Andrade et al., 2010), apresentando folhas pequenas ou modificadas em espinhos, cutículas impermeáveis, armazenamento de água em raízes e caules modificados, espécies que perdem as folhas na época seca (caducifólias)



(Correia et al., 2011) e troncos com aparência esbranquiçada, por isso o nome “Caatinga”, que em Tupi significa “mata branca” (Prado et al., 2003).

Este bioma possui uma grande biodiversidade, sendo registradas 5.344 espécies, destas, 1.512 estritas à Caatinga, 318 endêmicas (Souza, 2012), pertencentes principalmente às famílias *Caesalpiniaceae*, *Mimosaceae*, *Euphorbiaceae*, *Fabaceae* e *Cactaceae* (Araújo Filho, 2006). A caatinga apresenta-se com diferentes fisionomias, em razão das diferenças estruturais e da diversidade das espécies, sendo designados tipos de “Caatingas”. Andrade-Lima (1981) divide a caatinga em seis tipos e 12 subtipos da vegetação, de modo que esta classificação é baseada na estrutura física, riqueza e variedade de espécies. Em relação à fauna foram catalogadas 187 espécies de abelhas, 240 de peixes, 167 de répteis e anfíbios, 510 de aves e 148 de mamíferos (Dourado, 2014). No entanto, apesar de apresentar uma riqueza genética, seja vegetal e/ou animal, a caatinga ainda é pouca explorada. Segundo Hugo e Saraiva (2006), 41% da área não foi estudada. Portanto, se faz necessário que mais estudos sejam realizados para melhor caracterização e compreensão dos processos ecológicos que ocorrem neste bioma.

A região é marcada por uma irregularidade na distribuição das chuvas, com a produção animal limitada pela estacionalidade da oferta qualitativa e quantitativa de recursos forrageiros. Assim, no período chuvoso há uma grande diversidade de espécies, principalmente do estrato herbáceo, com 10% apresentando características forrageiras para o pastejo direto (Souza et al., 2013). Os estratos arbustivo e arbóreo são abundantes e de alto valor nutritivo, mas se encontram em grande parte longe do alcance dos animais, em razão da altura dos arbustos e das árvores. Em contrapartida, na época seca, a forragem está ao alcance dos animais, através da serapilheira, porém a qualidade nutricional é muito baixa, podendo limitar o consumo (Araújo Filho, 2013).

A exploração pecuária é basicamente extensiva e tem como principal fonte de alimento, o pasto nativo. Araújo Filho (2013) ressalta a importância das espécies de gramíneas e dicotiledôneas herbáceas no aumento do ganho de peso e a produção de leite de animais criados a pasto. Contudo, o uso indiscriminado de práticas agrícolas e agropecuárias são uma das principais causas da exposição do solo, levando a processos erosivos e o desaparecimento de espécies vegetais e/ou animais, conduzindo a um processo de sucessão secundária, causados pela alta taxa de lotação, superando a capacidade de suporte da área (Dantas et al., 2010). Diante deste cenário é necessário compreender a inter-relação solo-planta-animal como uma forma de manter o equilíbrio do ecossistema e buscar sistemas de produção que minimizem a interferência ocasionada por manejos inadequados dos rebanhos.

A produção total de fitomassa das espécies lenhosas e herbáceas na caatinga atinge em média 4000 kg/ha, com grandes variações anuais, dependentes da pluviosidade e manejos relacionados à forma e a intensidade do uso dos recursos forrageiros (Araújo Filho, 1992). Entretanto, deve-se levar em consideração que nem toda espécie é forrageira e nem toda forragem amostrada está ao alcance dos animais. Segundo Pereira Filho et al. (2013) apenas 10% fica disponível aos animais. Santana et al. (2011) verificaram a fitomassa de 6.454 e 3.495 kg de matéria seca (MS)/ha, para os estratos herbáceo e arbustivo/arbóreo, respectivamente, no período considerado chuvoso, reduzindo para 782 e 378 kg de MS/ha no período seco, em Serra Talhada - PE. Alternativas de manejo da pastagem nativa, tais como, o raleamento, rebaixamento e enriquecimento vêm sendo utilizadas como forma de aumentar a produtividade e a disponibilidade da forragem, assim como um maior aporte da qualidade nutricional de plantas forrageiras da caatinga.

O principal constituinte forrageiro no período seco é a serapilheira ou “litter” que provem da queda das folhas de árvores e arbustos. A serapilheira compreende a camada mais superficial do solo e compõe-se geralmente de folhas, ramos, flores, frutos e sementes (Costa et al., 2010). Este componente é de grande importância para alimentação animal no período seco, sendo praticamente a única fonte de alimento. Além de contribuir como forragem para os animais, sua produção é responsável pelo retorno quantitativo de nutrientes e incorporação de sementes no solo (Lima et al., 2015). Santos et al. (2011) obtiveram uma produção total de serapilheira de 9.158,93 kg ha ano<sup>-1</sup>, variando de 323,21 a 1.134,54 kg ha<sup>-1</sup> entre os meses das estações chuvosa e seca. Essa variação da produção de serapilheira é decorrente das características das plantas caducifólias que no final das chuvas e início do período seco perdem suas folhas para reduzir as perdas de água pelo processo de evaporação, aumentando assim, a produção de serapilheira neste período.

Cerca de 70% das espécies botânicas da caatinga participam da composição da dieta de ruminantes (Holanda, 2012). Entre as diversas espécies, Drumond (2000) destaca: o angico (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth)), o pau-ferro (*Caesalpinia ferrea* Mart. ex. Tul.), a catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.), a canafistula (*Senna spectabilis* var. *excelsa* (Sharad) H.S.Irwin & Barnely), a jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret), o sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* (Benth.)), e o juazeiro (*Zizyphus joazeiro* Mart.), entre as espécies arbóreas; o mororó (*Bauhinia* sp.), o engorda-magro (*Desmodium* sp.), a marmelada-de-cavalo (*Desmodium* sp.), o feijão-bravo (*Capparis flexuosa* L.), o mata pasto (*Senna* sp.) entre as espécies arbustivas e subarbustivas; e as mucunãs (*Stylozobium* sp.) e as cunhãs (*Centrosema* sp.), entre as lianas e rasteiras.

O pastejo de ruminantes na área pode modificar o ambiente e a frequência destas espécies, em razão do hábito e preferências na hora de selecionar sua dieta, sendo necessário o estudo da composição da dieta dos animais. Em área de caatinga no Semiárido do Brasil, a composição da dieta de caprinos varia de 0,3 a 43% de gramíneas, 3,1 a 57% de dicotiledôneas herbáceas e 11,3 a 88,4% de espécies lenhosas, enquanto a dieta dos ovinos varia de 0,7 a 59% de gramíneas, 6,6 a 67% de dicotiledôneas herbáceas e 5,5 a 84,8% de espécies lenhosas, dependendo do período, da composição botânica da pastagem e da área de avaliação (Pfister e Malechek, 1986; Peter, 1992; Pimentel, 1992; Leite et al., 1995; Araújo Filho et al., 1996). Estas informações corroboram com a classificação proposta por Hoffman (1988), que evidenciam o grau de flexibilidade na preferência alimentar de caprinos e ovinos nas condições do trópico do Semiárido brasileiro.

Embora muitos trabalhos enfatizem a dependência das chuvas para o desenvolvimento das plantas da caatinga, outros estudos (Borchert, 1994; Borchert, 1999; Borchert e Rivera, 2001) sugerem que a fenologia de algumas espécies não é determinada simplesmente pela precipitação, mas pelo conteúdo de água presentes nas raízes profundas e/ou caules capazes de armazenar quantidades de água, sendo independentes dos padrões reais de precipitação. Somada a isto, as características do solo, em sua maioria rasos ou salinos, fazem com que haja um menor armazenamento de água, com consequente interferência no desenvolvimento das plantas.

Algumas espécies de plantas da caatinga também vêm sendo estudada, não só como recurso forrageiro, mas por suas propriedades medicinais. Dentre estes constituintes presentes nas plantas, destacam-se os compostos secundários, que muitas vezes são associados à redução da disponibilidade dos nutrientes, principalmente a proteína (Ziony et al., 2010). Contudo, estes podem apresentar contribuições positivas, como a proteção da proteína da degradação ruminal, aumento da tolerância dos animais às helmintoses e à prevenção do timpanismo (Getachew, 1999). Segundo Van Soest (1994), os pequenos ruminantes usam o processo fermentativo como meio de detoxicar os compostos secundários.

Peixoto et al. (2016) observaram que a presença de compostos secundários (componentes fenólicos, flavonóides, esteróides e terpenóides) possuem alta atividade antibacteriana, e que as espécies da caatinga, *A. cearensis* e *H. martiana*, apresentaram maior percentual de inibição (88,1% e 99,4%, respectivamente) contra *Staphylococcus* spp., em casos de mastite subclínica em pequenos ruminantes. O uso destes compostos no combate as infecções por nematódeos gastrointestinais vem sendo realizados. Lisonbee et al. (2009) e Villalba et al. (2010) observaram redução da carga parasitária de nematódeos gastrointestinais

em ovelhas confinadas com o aumento da ingestão de taninos. Outro estudo realizado em Israel com a espécie *Pistacia lentiscus*, um arbusto rico em taninos, demonstrou ação anti-helmíntica, (Landau et al., 2010). Segundo Amit et al. (2013), os animais em pastejo podem ter a capacidade de se automedicar, modificando o seu comportamento e a alimentação, com o aumento no consumo de plantas ricas em taninos quando infectadas por nematódeos gastrointestinais.

Portanto, mais estudos são necessários para a compreensão deste bioma que apresenta alta resiliência, com rápida recuperação da vegetação aos primeiros pulsos de precipitação, além de conhecer melhor as propriedades e valor nutricional das espécies utilizadas pelos animais e assim lançar estratégias de melhor utilização entre o potencial da vegetação e a produção animal.

### **Valor nutritivo do pasto de caatinga e fatores que afetam a qualidade**

A caatinga é formada por uma diversidade de espécies vegetais, as quais compõem a dieta de ruminantes em pastejo. Estas espécies vegetais podem apresentar variações nos valores nutricionais, sendo afetados por diferentes fatores que interferem na qualidade da forragem, associados à seleção da dieta pelos animais em pastejo. Para isso, devem-se compreender as diferenças entre os conceitos de valor nutritivo e qualidade, pois muitas vezes são vistos como sinônimos. Segundo Santos (2007), o valor nutritivo está relacionado à proporção de nutrientes disponíveis ao animal, enquanto a qualidade compreende o efeito da composição química, digestibilidade, consumo voluntário e a interação de fatores hereditários e de ambiente sob o desempenho do animal (Moore, 1994).

Alguns trabalhos (Brito et al., 1997; Brito et al., 2004; Lemp, 2007) foram realizados com o intuito de verificar a associação entre a anatomia vegetal e o valor nutricional das forrageiras. Brito et al. (1999) utilizaram técnicas de microscopia eletrônica de varredura e observaram que o tecido vascular lignificado é um dos mais resistentes a digestão pela microbiota ruminal. De acordo com Akin et al. (1983) é possível relacionar o potencial de digestibilidade das plantas pela identificação dos diferentes tecidos vegetais que compõem as frações das forrageiras. A diferenciação dos tecidos e sua relação com a digestibilidade pode ser diferente entre as plantas C3 e C4, onde a epiderme, camada mais externa da folha das plantas C3, está unida ao parênquima, já em plantas C4 ao esclerênquima, formando uma estrutura designada “*Girder*” que impede o desprendimento da epiderme do restante da folha,

ocasionando maior resistência a danos mecânicos e físicos (Wilson et al., 1989), e portanto, podem apresentar uma menor digestibilidade.

O valor nutritivo da forragem pode variar conforme a época do ano, tipo de caatinga, parte da planta, variáveis ambientais, grau de maturidade, tipo de solo, manejo e diversidade da vegetação (Santana et al., 2011; Silva et al., 2011; Nunes et al., 2016). Bakke et al. (2010) ressaltam que a compreensão sobre o valor nutritivo da pastagem de caatinga pode ser algo complexo, pois envolve a diversidade de espécies vegetais, o que dificulta o conhecimento nutricional de forma individual, a variação na quantidade e qualidade em função da distribuição das chuvas, seletividade de plantas e/ou partes das plantas pelas diferentes espécies animais e presença de fatores antinutricionais que podem afetar o desempenho dos animais.

Dentre as variáveis climáticas, a temperatura e a pluviosidade são as que mais afetam o valor nutritivo (Hassen et al., 2007), o que faz com que em altas temperaturas aumente os componentes da parede celular, tais como a lignina, enquanto reduz a proteína, vitaminas, minerais, carboidratos solúveis e digestibilidade (Santos et al., 2011). O mesmo pode se observar com o avanço da maturidade (Valente et al., 2010; Caldeira, 2016), o que foi relatado por Souza et al. (2013), os quais verificaram um aumento no teor de lignina com consequente maximização das concentrações de fibra em detergente neutro (FDN) (73,12%), fibra em detergente ácido (FDA) (68,09%) e redução da digestibilidade (50,80%).

Segundo Van Soest (1994), outros componentes, como os flavonóides, isoflavonóides, taninos condensados, taninos hidrolisados e alcaloides podem interferir na ação das bactérias no rúmen, com efeitos no metabolismo animal. Santos et al. (2009) avaliaram a composição da dieta de ovinos na caatinga e encontraram valores de taninos variando de 1,28 a 5,29% no período seco e de 3,68 a 6,24% no período chuvoso. Os taninos condensados podem interferir no metabolismo animal, uma vez que se ligam a proteína proporcionando proteção contra a degradação dos microrganismos ruminais (Piluzza et al., 2014).

A época do ano tem forte influência no aspecto nutritivo, pois na caatinga há períodos de concentrações de chuvas em alguns meses do ano, enquanto outros são marcados por ausência de precipitações. Araújo Filho et al. (1996) observaram mudanças nos valores nutricionais conforme os períodos do ano quando avaliaram a composição química da dieta de ovinos e caprinos em pastejo combinado, os quais observaram teores de 13,4, 8,5 e 16,5% de PB e 52,4, 58,7 e 55,3% para FDN, nos períodos de transição de chuva-seca, seca e transição seca-chuva, respectivamente. Os maiores valores de proteína no período chuvoso podem estar relacionados com a maior capacidade de realização do processo de fotossíntese, em razão da

maior disponibilidade de água, o que aumenta a fixação biológica do nitrogênio (Caldas et al., 2010).

A composição pode variar conforme a parte da planta coletada ou selecionada pelo animal. Isso foi observado por Silva (2012) que avaliou a composição do pasto de caatinga nas frações de folha e caule, obtendo valores médios para PB de 16,81% para folha e 8,49% para o caule, enquanto para digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) foi de 67,1% nas folhas e de 46,83% no caule. O menor valor de proteína e digestibilidade na fração dos caules são decorrentes principalmente do aumento dos teores dos componentes da parede celular e redução do conteúdo solúvel.

A composição nos diferentes estratos também pode ser observada e deve ser levado em consideração. Pereira Filho et al. (2013) em um compilado de dados verificaram diferenças químicas de algumas espécies dos componentes arbóreo e herbáceo (monocotiledôneas e dicotiledôneas), com valores máximos de PB de 9,14, 14,42 e 21,1% para as gramíneas, dicotiledôneas e arbóreas, respectivamente.

É importante se conhecer a qualidade da dieta selecionada pelos ruminantes, uma vez que a mesma pode apresentar composição química e botânica diferentes da forragem disponível. Segundo Santos et al. (2008), os ovinos podem selecionar componentes de melhor qualidade e uma vez que a qualidade e a quantidade são limitantes, estes aumentam o tempo de pastejo.

O teor de PB, muito citado como um parâmetro de qualidade da forragem da vegetação da caatinga, pelos níveis relativamente elevados, apresentou-se com uma parte muito significativa ligada à FDA e, por consequência, indisponível para os animais. Moreira et al. (2006) avaliaram a composição de diferentes espécies da caatinga no período chuvoso e observaram que a jurema preta apesar de apresentar 16,88% de PB apresentou DMS de 11,19% e DMO de 11,72%. Santos et al. (2009) ressaltaram que os teores de proteína das plantas da caatinga são altos, porém tornam-se indisponíveis por estarem ligados a FDA. Portanto, há necessidade de se avaliar o nitrogênio disponível para utilização pelos microrganismos, avaliando o fracionamento da proteína. Araújo (2015) avaliou o fracionamento proteico de algumas plantas forrageiras da caatinga raleada e enriquecida e observou que a espécie *Althernantera brasiliiana* junto ao *Panicum maximum* apresentaram uma maior fração de proteína efetivamente degradada no rúmen (PEDR), 30% por 2% de taxa de passagem/hora, enquanto as espécies, *Mimosa tenuiflora* (2,48%), *Combretum lepreosum* (3,04%), e *Mimosa caesalpiniaefolia* (1,57%) obtiveram maior fração proteica não degradável no rúmen e indigestível (PINDR). O mesmo ressalta que apesar de algumas espécies

apresentarem alto teor proteico, a associação destas com a lignina e/ou taninos, fazem com que reduza a taxa de degradação, aumentando a fração PINDR.

A avaliação do fracionamento de proteína é de suma importância, uma vez que há uma necessidade de aporte proteico pelos microrganismos do rúmen. Em alguns períodos do ano, principalmente no período seco, as plantas da caatinga apresentam baixa qualidade, portanto é necessária a oferta de fontes de alimentos com maiores teores de PEDR em associação com carboidratos não fibrosos, para assim suprir as necessidades dos microrganismos ruminais. Uma alternativa seria a suplementação a pasto, no entanto, antes deste procedimento, é preciso conhecer a composição nutricional do pasto e suas variações ao longo do ano, associado ao consumo e as exigências nutricionais dos animais.

Alguns trabalhos foram realizados nos anos de 2010 a 2016 (Tabela 1) com o intuito de avaliar o pasto nativo da caatinga. O que se pode observar é que em razão da grande variedade de espécies, associada às variações nos manejos, estratos, partes da planta, períodos do ano, ocorrem diferenças na composição nutricional do pasto, que relacionando com a dieta selecionada pelo animal em pastejo pode dificultar a determinação do valor nutricional. Portanto, faz-se necessário entender e conhecer métodos que avaliem a composição da dieta de ruminantes em pastejo, a fim de identificar se há deficiência de nutrientes em determinadas épocas e com isso estabelecer estratégias de suplementação para corrigir estes déficits.

Tabela 1 - Composição bromatológica de pasto nativo de caatinga analisado de forma composta ou separadamente por diversos autores nos anos de 2010 a 2016.

Referência	Local	Tipo/espécies de forragem coletada do pasto de caatinga	Parâmetros								
			MS	PB	EE	FDN	FDA	LIG	DIVMS	NIDN	NIDA
Oliveira (2010)	Pernambuco	Pasto nativo de caatinga		12,32	1,83	60,70	25,63	9,49			
Formiga et al. (2011)	Paraíba	Dicotiledôneas/jun.	25,60	8,70		61,80	55,90		59,84		
		Dicotiledôneas/out.	81,70	3,60		82,40	79,80		37,02		
		Outras gramíneas/jun.	43,60	3,30		83,80	75,00		41,41		
		Outras gramíneas/out.	91,40	2,40		81,00	75,10		43,07		
Santana et al. (2011)	Pernambuco	Estrato arbustivo	53,42	16,46	1,79	44,38	34,09		26,49	10,36	5,79
		Estrato herbáceo	58,15	8,73	1,80	69,66	55,98		37,11	0,85	0,79
Lucas (2012)	Pernambuco	<i>Astronيان urundeuva</i>		14,30	5,80	45,00	32,90	10,80			
		<i>Caesalpineia bracteosa</i>		11,90	5,60	53,90	39,60	10,80			
		<i>Desmanthus virgatus</i>		17,40	3,90	58,90	43,00	10,60			
Silva (2012)	Pernambuco	Folha	45,82	15,54	3,78	52,13	39,01		66,23	8,60	6,71
		Caule	48,74	8,35	2,06	52,13	44,03		45,88	5,76	6,37
Souza et al. (2013)	Rio grande do Norte	Pasto nativo de caatinga	79,77	7,79	4,28	73,12	68,09		50,80		
Araújo (2015)	Ceará	Pasto/águas	46,70	9,74		60,70	44,00	10,80	51,93	2,15	1,11
		Pasto/transição	29,30	8,13		61,60	40,30	7,26	53,99	2,87	1,69
		Pasto/seca	30,60	6,80		71,10	55,79	7,52	42,59	3,22	2,02
Oliveira et al. (2015)	Pernambuco	Pasto de caatinga raleada/jan.	32,30	12,90	2,20	48,30	23,80				
		Pasto de caatinga raleada/jun.	34,50	8,90	2,60	67,60	39,20				
		Pasto de caatinga raleada/out.	78,90	3,60	1,20	79,20	48,50				
Nunes et al. (2016)	Paraíba	<i>Zizyphus joazeiro Mart.</i>	38,49	10,77		51,61	32,69	0,56			
		<i>Capparis flexuosa (L.) L.</i>	47,10	9,51		45,67	31,05	0,59			
		<i>Mimosa tenuiflora</i>	48,50	9,81		48,93	32,82	0,65			

Matéria seca - MS; Proteína bruta - PB; Extrato etéreo - EE; Fibra em detergente neutro - FDN; Fibra em detergente ácido - FDA; Lignina - LIG; Digestibilidade *in-vitro* da matéria seca - DIVMS; Nitrogênio insolúvel em detergente neutro - NIDN; nitrogênio insolúvel em detergente ácido - NIDA. Janeiro - jan.; junho - jun.; outubro - out.



## **Métodos de avaliação da qualidade nutricional da dieta de animais em pastejo**

Caprinos e ovinos possuem a capacidade de selecionar espécies de plantas, partes da planta e concentração de nutrientes superior à forragem disponível (Dove e Mayes, 2005). Quando se estende para a caatinga, a qual possui uma diversidade de composição botânica, a estimativa da dieta selecionada pelos animais torna-se complexa. Portanto, há dificuldades para se obter técnicas simples, rápidas e baratas que determinem com acurácia e precisão a dieta selecionada pelo animal, para posteriormente serem realizadas análises quanto ao seu valor nutritivo. Dentre as técnicas comumente utilizadas para determinar a composição da dieta dos animais em pastejo destacam-se: uso de gaiola de exclusão, a coleta total da forragem, simulação de pastejo, uso de animais fistulados, uso de n-alcanos e micro-histologia das fezes (Sanders et al., 1980; Bryant et al., 1981; Dove e Mayes, 1991).

As gaiolas de exclusão colocadas no pasto possuem a praticidade de avaliar o grau de utilização do pasto, porém, alguns resultados indicam que pode ocorrer perda por pisoteio ou desagregação de partes da planta. A coleta total da forragem possui as vantagens de exigir pouco equipamento, não necessitar de animais fistulados, não ter contaminação salivar. Contudo, Lesperance et al. (1974) enfatizam a capacidade do animal selecionar dieta com maior valor nutricional em relação ao que está disponível. Portanto, no caso da adoção do uso desta técnica, poderia ocorrer uma subestimativa da dieta selecionada pelos animais.

Estudos com pastejo simulado consistem da observação do animal no pasto, coletando amostras que simulem o pastejo, com a vantagem de ser simples, com baixa interferência ao animal e custo mínimo (Bonnet et al., 2011). Em situações em que os animais estão em pasto cultivado, onde se tem monoculturas, essa determinação pode ser mais fácil, porém, na pastagem de caatinga torna-se de difícil execução em razão da diversidade de espécies existentes associado ao hábito seletivo dos animais, fazendo com que a técnica se torne inviável. Alguns trabalhos testaram a confiabilidade da simulação de pastejo, conseguindo até 90% de confiabilidade, mas ainda ocorreram problemas com o tamanho da amostragem e o tempo de avaliação (Meuret et al., 1985; Gedir e Hudson, 2000). Estas diferenças podem estar relacionadas com a subjetividade do observador no momento da avaliação.

O observador pode ser uma das fontes de variações das estimativas da composição da dieta dos animais, o qual pode reduzir a acurácia dos resultados. Com o intuito de verificar a acurácia do método de simulação de pastejo, Bonnet et al. (2011) verificaram que o treinamento do observador foi a variável que mais influenciou a precisão das estimativas da massa do bocado, tanto na avaliação com bovinos quanto para caprinos, no entanto, a

subjetividade no método pode ser minimizada com o treinamento do observador, alcançando precisões acima de 80%. Sanders et al. (1980) compararam a simulação de pastejo e análise fecal e verificaram que ambas foram suficientes por determinar os principais componentes da dieta de bovinos em pastejo no Texas. Porém, os mesmos ressaltam que a simulação de pastejo não pode ser usada em grandes áreas, pois o período curto de observação (7 a 8 horas) superestimou a participação da gramínea buffel (41%) comparada com análise fecal, com período de seis dias (7%), indicando que nos dias restantes, os bovinos acessaram outras comunidades de plantas.

Uma alternativa a este método seria a utilização de animais fistulados no esôfago ou no rúmen, podendo representar melhor a dieta do animal. Contudo, há controvérsias sobre sua utilização, uma vez que se constitui um método invasivo, caro, inviável para herbívoros selvagens (Bonnet et al., 2011), comportamento diferente dos animais intactos, diferenças nas estimativas dos nutrientes (Holechek et al., 1982; Langlands, 1987) e as questões éticas relacionadas ao bem-estar dos animais na experimentação, o que limita o seu uso.

Aliado a este viés, ainda há questionamentos sobre qual o melhor local da fístula, se no esôfago ou rúmen. Os animais fistulados no esôfago vêm sendo utilizados como um método para representar a dieta selecionada por animais em pastejo. No entanto, Theurer (1970) indicou diversos fatores que poderia limitar o uso de amostras coletadas por meio de fístulas, tais como: recuperação incompleta da amostra, alterações químicas durante a mastigação, salivagem e preparação das amostras no laboratório. Lista et al. (2007) ressaltam que a contaminação pela saliva aumentaria os teores de PB, principalmente da fração de nitrogênio não proteico (NNP).

A contaminação da extrusa esofágica foi analisada por Langlands (1966), a qual verificou uma redução de 27% de potássio e um aumento de 547% de sódio em relação ao alimento consumido. Algumas alternativas vêm sendo utilizadas para reduzir a contaminação salivar, por meio de espremer manualmente o material, ou uso de sacos com fundos de crivo, ambas reduzem a contaminação, mas podem resultar na perda de nutrientes solúveis (Lesperance et al., 1974). Apesar destes inconvenientes, alguns autores (Theurer et al., 1976; Kartchner e Campbell, 1979; Dove et al., 2000) apontam que esta representa melhor a dieta do que amostras cortadas.

Lesperance et al. (1960) e Rice (1970) relataram que o uso de fístulas no rúmen é mais vantajosa do que as esofágicas, exigindo menos cuidado durante a amostragem. A coleta da amostra consiste na remoção do conteúdo ruminal, permitindo que o animal pasteje para uma posterior coleta desta amostra e retorno da anterior ao rúmen. Dentre as desvantagens, citam-

se: tempo desprendido para evacuação ruminal e substituição do conteúdo após a amostragem, consequências na fisiologia animal, o rúmen vazio pode reduzir a capacidade do animal em selecionar a forragem (Holecheck et al., 1982).

A absorção de carboidratos solúveis pelas paredes do rúmen (Lesperance et al., 1960) e a infusão direta de ureia do sangue para o rúmen (Church, 1976) podem aumentar a concentração de PB em extrusas provenientes de fistulas ruminais. Contudo, Olson (1991) ressalta que a perda de carboidratos solúveis através do desaparecimento pode ser minimizada usando períodos de coleta relativamente curtos (30 - 45 minutos). Embora a técnica da fístula ruminal tenha limitações, os pesquisadores a usaram com sucesso para estudar dietas de bovinos (Lesperance et al., 1960; Connor et al., 1963).

O uso de métodos indiretos como n-alcanos, presentes nas plantas, podem ser utilizados como marcadores da dieta (Keli et al., 2008). As vantagens do método estão na baixa invasão, ser facilmente analisado, acurados e a possibilidade de levar em conta a interação entre o animal e a dieta (Dove e Mayes, 1991; Dove e Mayes, 2005). Um dos inconvenientes da técnica está relacionado com a variação quanto a recuperação fecal, o efeito da espécie animal (Ferreira et al., 2009), estado fisiológico e tipo de dieta (Elwert et al., 2008).

A utilização de material fecal a partir da técnica micro-histológica pode ser utilizada como estimativa da composição centesimal das plantas forrageiras e, conseqüentemente, o valor nutricional da dieta consumida. O método baseia-se no reconhecimento das plantas (Rosito e Marchezan, 2003), a partir de características epidérmicas, como o tamanho e a forma de tricomas, os estômatos, disposição das nervuras e organização das células epidérmicas (Mandret, 1989).

As primeiras análises foram realizadas por Sparks e Malechek (1968), as quais possuem vantagens da não interferência no hábito de pastejo dos animais (Crocker, 1959). Um dos problemas da técnica é a diferença da digestão entre os fragmentos vegetais, em decorrência das diferenças anatômicas e químicas, diferentes proporções de fragmentos identificáveis e hábitos errôneos do avaliador (Bauer et al., 2005). Holechek e Vavra (1981) determinaram que cinco lâminas microscópicas por amostra e 20 campos de observação por lâmina seriam suficientes para estimar com exatidão as espécies que participam com 20% ou mais em peso na dieta.

Mcinnis et al. (1983) compararam as técnicas de fistula esofágica, conteúdo ruminal, análise fecal e estimativa de utilização para determinar a dieta de grandes herbívoros (Tabela 2).

Tabela 2 - Similaridade de métodos usados para determinar a dieta de grandes herbívoros.

Comparação		% Similaridade
<i>Ensaio de alimentação</i>		
Alimentação composta à mão vs.	Fístula esofágica	98
Alimentação composta à mão vs.	Análise ruminal	89
Alimentação composta à mão vs.	Análise fecal	80
Fístula esofágica vs.	Análise ruminal	90
Fístula esofágica vs.	Análise fecal	82
Análise ruminal vs.	Análise fecal	88
<i>Ensaio de pastejo</i>		
Estimativa de utilização vs.	Fístula esofágica	85
Estimativa de utilização vs.	Análise ruminal	69
Estimativa de utilização vs.	Análise fecal	62
Fístula esofágica vs.	Análise ruminal	83
Fístula esofágica vs.	Análise fecal	76
Análise ruminal vs.	Análise fecal	93

Fonte: (Mcinnis et al., 1983).

Pode-se observar (Tabela 2) que houve variações na composição das dietas, conforme o método utilizado. Os autores sugerem que a técnica de fístula esofágica descreveu a composição botânica com mais precisão que outros métodos.

Assim, cada método possui suas vantagens e desvantagens, e podem resultar em variações nas estimativas da composição da dieta dos animais em pastejo. Contudo, ainda há necessidade de técnicas mais simples, rápidas e de baixo custo para o acompanhamento da qualidade nutricional da dieta de animais em pastejo. Entre as técnicas já desenvolvidas destaca-se o uso da espectroscopia NIR, como método alternativo aos métodos tradicionais, a qual pode ser utilizada como ferramenta de assessoramento nutricional.

### **Espectroscopia de Reflectância do Infravermelho Próximo - NIRS**

A crescente demanda pelo controle de qualidade de diferentes produtos, e em diferentes segmentos, aliados a uma resposta rápida, levou a necessidade do uso de uma técnica analítica mais rápida, fácil, de baixo custo e com baixa contaminação ambiental. Foi neste propósito que os estudos baseados na interação da luz com a matéria foram desenvolvidos.

A espectroscopia está relacionada com a interação da radiação eletromagnética com compostos orgânicos, cujo principal objetivo é a determinação dos níveis de energia e transições de compostos atômicos e moleculares (Oliveira, 2011). O espectro eletromagnético

é formado por fótons, ou seja, por *quantum* de radiação eletromagnética, os quais podem ter energias diferentes que interagem com a matéria. Assim, fótons com maior concentração de energia proporcionam o deslocamento de elétrons, enquanto os de menor energia resultam em vibrações moleculares (Murray e Williams, 1987).

Para entender como o NIR analisa substâncias orgânicas, determinando caracteres quantitativos e qualitativos, é necessário conhecer alguns princípios da técnica. A espectroscopia NIR compreende a região do espectro eletromagnético na faixa de 780 a 2500 nm, o qual analisa substâncias orgânicas a partir da absorção de energia eletromagnética emitida, com comprimentos de ondas situadas na região do infravermelho próximo, que ao penetrar na amostra podem ser absorvidos por meio de ligações covalentes existentes entre os elementos presentes nos compostos orgânicos, que vibram em determinados comprimentos de ondas (Skoog et al., 2006). Com o estudo da quantidade e o tipo de ligação covalente presente no material por meio das ondas eletromagnéticas é possível relacionar os espectros com os componentes químicos (Bansod e Thakre, 2014).

Na região do infravermelho próximo ocorrem combinações e sobretons de transições vibracionais, principalmente nos grupamentos funcionais, O-H, NH, C-H, C-H-O, o que significa que os espectros de NIRS podem conter informações sobre a estrutura da maioria das substâncias orgânicas (Santos et al., 2014; Qu et al., 2015). Os sobretons correspondem às bandas de absorção com valores de frequência igual a múltiplos inteiros das vibrações normais ou fundamentais, ou seja, se  $v$  é o valor da frequência de um modo fundamental de vibração, os sobretons irão aparecer com valores de  $2v$ ,  $3v$  e assim sucessivamente (Araújo, 2007). O mesmo autor explica que as combinações estão relacionadas com as combinações das frequências normais ou múltiplos inteiros destas. É por causa da presença dos sobretons e combinações, que os espectros se apresentam de forma mal definida, com efeitos de espalhamento e bandas largas podendo dificultar sua interpretação.

Assim, toda matéria orgânica a qual deseja analisar é formada por um conjunto complexo de átomos, principalmente, carbono, oxigênio, nitrogênio, hidrogênio, os quais se combinam por meio de ligações covalentes para formar as moléculas que absorvem várias frequências de radiação eletromagnética na região do infravermelho (Toscan, 2016). Cada molécula absorve determinado comprimento de onda único (Foley et al., 1998) (Tabela 3), como se fosse sua impressão digital, podendo se distinguir das demais moléculas presentes.

Tabela 3 - Caracterização dos comprimentos de ondas na região NIR.

Comprimento de onda (nm)	Banda de vibração	Estrutura
1143	Segundo sobretom de C-H	Aromático
1410	Primeiro sobretom de O-H	ROH, óleo
1450	Primeiro sobretom de estiramento de O-H	Amido e H <sub>2</sub> O
1463	Primeiro sobretom de estiramento de N-H	CONH <sub>2</sub>
1471	Primeiro sobretom de estiramento de N-H	CONHR
1490	Primeiro sobretom de estiramento de O-H e N-H	Celulose e CONHR
1510	Primeiro sobretom de estiramento de N-H	Proteína
1780	Primeiro sobretom de estiramento de C-H	Celulose
1790	Combinação O-H	H <sub>2</sub> O
1920	Segundo sobretom de estiramento de C=O	CONH
1930	Combinação de estiramento O-H e deformação HOH	Amido
1940	Segundo sobretom	H <sub>2</sub> O
2030	Segundo sobretom de estiramento de C=O	Ureia
2060	Segundo sobretom de estiramento e curvatura de N-H	Proteína
2070	Combinação de O-H	Óleo
2180	Segundo sobretom de curvatura de N-H e combinação de estiramento C-H e C=O	Proteína
2270	Combinação de estiramento O-H e C-O	Celulose
2352	Segundo sobretom de curvatura CH <sup>2</sup>	Proteína, celulose e óleo
2470	Combinação de C-H	CH <sub>2</sub>
2530	Primeiro sobretom de estiramento de C-N-C	Proteína

Fonte: (Osborne e Fearn, 1986).

É nesta teoria que os pesquisadores trabalham para identificar componentes orgânicos, pois cada vibração envolve uma oscilação em uma frequência específica, podendo ser feita a caracterização do tipo de oscilação molecular e consequentemente os grupos funcionais presentes nas moléculas. Portanto, baseado nesta hipótese é possível identificar nas amostras selecionadas pelos animais em pastejo, o conteúdo de proteína, matéria orgânica, fibra, extrato etéreo, pois os mesmos possuem constituintes orgânicos em suas moléculas, os quais terão vibrações distintas, assim passíveis de identificação.

As coletas dos espectros são feitas a partir de equipamentos dos mais diversos tipos, podendo variar quanto ao tamanho, peso, sensibilidade e tipo de amostra a ser analisada. Um espectrômetro NIR típico consiste principalmente de fonte de luz, sistema de divisor de feixe, detector de amostra, detector óptico e sistema de processamento de dados (Skoog et al., 2006). Nos últimos anos, particularmente, com a evolução de *hardwares* e de *softwares*, permitiu que instrumentos NIR fossem transformados em dispositivos portáteis e práticos, alguns permitindo a análise sem necessitar da secagem da amostra (Guo et al., 2010; Qu et al., 2015), facilitando o processo de determinação dos parâmetros, os quais deseja avaliar.

Alguns fatores são apontados como meios de interferência na leitura pelo NIR, os quais os mais comuns são as diferenças de granulometria e o teor de umidade. Apesar disso, a

NIRS tem sido usada com sucesso em uma ampla variedade de produtos com alto teor de umidade (Xu et al., 2012; Fan et al., 2016; Torres et al., 2017).

A espectroscopia NIR pode determinar os constituintes e estruturas químicas de amostras orgânicas tanto diretamente, pela análise química e coleta de espectros da mesma amostra, quanto indiretamente, pela análise química de um material e coleta de espectro de outro, para então correlacionar (Stuth et al., 2003). Chadhaa e Haneef (2015) destacaram que a técnica NIRS possui as vantagens de ser um método rápido, reproduzível, não destrutivo, com a capacidade de analisar características físicas e químicas das moléculas. Como limitações citam a dependência de metodologias analíticas bem estabelecidas na determinação de cada parâmetro durante o procedimento de calibração, custo com equipamento (Muñiz et al., 2012) e a baixa sensibilidade, a qual sua aplicação se restringe a análise de constituintes em concentrações superiores a 0,1% (Carneiro, 2008).

A NIRS vem sendo utilizada em diversas áreas: agrícola e pecuária (Balage et al., 2015; Teye et al., 2015; Aureli et al., 2017), médica (Zontov et al., 2016), indústria alimentícia (Oliveira et al., 2014; Carvalho et al., 2015), petroquímica (Rinnan et al., 2017), farmacêutica (Zontov et al., 2016) e florestal (He e Hu, 2013), alcançando bons resultados de acurácia e precisão, tanto em informações quantitativas quanto qualitativas.

A associação da espectroscopia NIR com a quimiometria, a qual utiliza métodos matemáticos e estatísticos correlaciona à informação eletromagnética (espectro) com a informação da composição química e física (método de referência) da amostra (López et al., 2013), sendo possível a determinação dos parâmetros relacionados com grupos orgânicos.

## **Quimiometria**

As informações contidas nos espectros gerados pelo método NIRS são complexas e de difícil percepção das diferenças espectrais entre as amostras quando vistas a olho nu. Assim, a quimiometria utiliza recursos matemáticos e estatísticos em dados químicos para extrair informações analíticas, de natureza multivariada, construindo a classificação de modelos e melhorando a precisão e robustez dos mesmos (Lohumi et al., 2015).

A técnica NIRS pode apresentar algumas desvantagens na sua aplicação, pois apresentam sinais fracos, bandas sobrepostas e efeitos de dispersão da luz, o que dificulta a interpretação dos espectros. Borrás et al. (2015) propõem a utilização de tratamentos matemáticos utilizados antes do desenvolvimento dos modelos de regressão, como uma forma

de reduzir os efeitos de dispersão da linha de base, variação do comprimento de onda, sobreposição das bandas, variações no espalhamento da luz e da temperatura.

Dentre os métodos matemáticos utilizados pode-se destacar: variação normal padrão (SNV), correção multiplicativa de sinal (MSC), derivadas 1 e 2 (1Der e 2Der) e algoritmo *Savitzky-Golay*, os quais podem ser aplicados de forma isolada ou combinada. A utilização de um ou outro podem aprimorar a precisão da classificação de análise qualitativa e aumentar a precisão da previsão de modelos quantitativos (Devos et al., 2014).

Os tratamentos SNV e MSC são utilizados para minimizar os efeitos de diferenças de tamanhos de partículas e variações no espalhamento da luz (Engel et al., 2013), enquanto a primeira e segunda derivadas são usadas para corrigir o deslocamento da linha de base, em função do espalhamento (Oliveira, 2014). A maior limitação do uso dos métodos das derivadas é a diminuição na relação sinal/ruído que se produz quando aumenta o grau da derivada. Por isso, antes da diferenciação é comum aplicar-se aos dados algum tipo de suavização, tais como, *Savitzky-Golay*.

Após as correções feitas pelos tratamentos matemáticos é possível utilizar técnicas de estatística multivariada, as quais se baseiam na análise de mais de uma variável simultaneamente, podendo ser classificados em dois tipos: métodos de classificação e de calibração multivariada. A aplicação de um ou outro, depende do tipo de informação que se deseja obter.

Os métodos de classificação são utilizados em respostas qualitativas e permitem classificar as amostras em categorias (Brereton, 2009). Dentre as técnicas existentes, as mais utilizadas para a classificação são: modelagem independente por analogia de classe (SIMCA) e análise de componentes principais (PCA) (Fu e Ying, 2016).

A PCA é uma técnica que reduz a dimensionalidade dos dados pela combinação linear dos dados originais (espectros) com a finalidade de reunir a maior variabilidade dos dados sem perda significativa da informação química (Muñiz et al., 2012). Segundo Batista (2016), a PCA permite agrupar amostras similares, bem como detectar amostras fora do grupo (*outliers*). Já no método SIMCA, para construir os modelos de classificação, as amostras pertencentes a cada classe precisam ser analisadas por PCA e os componentes principais de cada classe são determinados (Veras et al., 2012). As amostras desconhecidas são comparadas com os modelos de classe e atribuídas aos grupos de acordo com a similaridade das amostras de treinamento (Balabin et al., 2010).

Além dos métodos de classificação existem as técnicas utilizadas em calibrações multivariadas com dados quantitativos. As análises de regressão multivariada permitem



estabelecer uma correlação entre os valores das respostas avaliadas, tais como proteína, digestibilidade (y) e o conjunto de espectros (x). Os métodos de regressão mais utilizados são: regressão linear múltipla (MLR), regressão em componentes principais (PCR) e regressão por mínimos quadrados parciais (PLS).

A MLR determina uma relação linear das variáveis independentes e uma ou mais variáveis dependentes, no caso, a resposta analisada (Rajalahti e Kvalheim, 2011). Este tipo de regressão pode alcançar bons resultados quando se trabalha com respostas lineares, sem interações entre os parâmetros avaliados, com baixo ruído e nenhuma colinearidade (Naes et al., 2002). Rajalahti e Kvalheim (2011) propõem o uso da regressão usando os escores de componentes principais (PCs), tais como a PCR para corrigir os problemas de respostas colineares, as quais não podem ser resolvidas com a MLR.

A PCR é baseada na redução das informações considerando somente as informações relacionadas aos espectros (x) sem levar em consideração a relação existente entre os espectros e a variável (y) estudada. Como desvantagem, o uso da PCR não garante que as componentes principais modelem informações relevantes, ou seja, estas podem modelar as variações nas variáveis x (espectros) de pouca ou nenhuma importância para as variáveis y (resposta avaliada) (Wold et al., 2001).

A regressão PLS é a mais utilizada em comparação com outros métodos de regressão multivariada. Ao contrário da MLR, a PLS pode analisar dados com forte colinearidade, amostras com ruídos e redundantes (Cozzolino et al., 2009). A regressão PLS reduz o conjunto de dados assim como a PCA, mas utiliza o critério de variância para a decomposição matricial (Rajalahti e Kvalheim, 2011). Segundo Roggo et al. (2007), o método PLS possui as mesmas vantagens que a PCR, mas com um ponto adicional ao utilizar as informações das variáveis respostas (y) na construção das variáveis latentes. Assim, é assegurado que as variáveis latentes sejam ordenadas obedecendo a sua ordem de importância para prever a resposta y.

Ainda em calibrações multivariadas, pode-se destacar o uso das redes neurais e mínimos quadrados - máquinas vetoriais de suporte - LS-SVM, como uma alternativa em dados que lidam com relações de variáveis não lineares (Fu e Ying, 2016). É importante notar que atualmente existem diversos pacotes estatísticos que tratam os resultados de diferentes maneiras, tais como: *The Unscrambler*, *Grams Suite*, *Matlab*, *SIMCA-P*, *SAS*, aumentando a possibilidade dos diferentes usos, para as diferentes respostas as quais desejam avaliar.

## Uso da NIRS fecal para avaliação da qualidade do pasto de animais em pastejo

A tecnologia NIRS fecal consiste no desenvolvimento de modelos de calibração através do uso de parâmetros estatísticos e matemáticos, os quais comparam as características espectrais das fezes (variáveis independentes) com os constituintes da qualidade da dieta (PB, DMS, DMO - variáveis dependentes) dos animais (Figura 1) (Coughenour e Makkar, 2012).

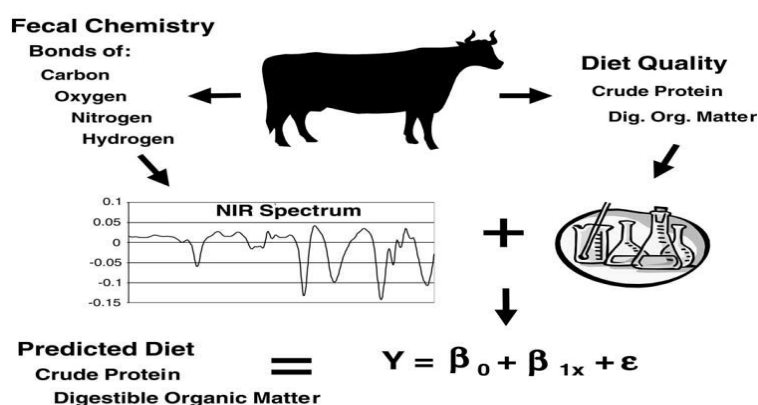


Figura 1 - Método indireto para estimar a qualidade da dieta de animais em pastejo.  
Fonte: (Adaptado de Stuth et al., 2003).

A hipótese consiste na relação da composição das fezes, a qual se encontram perdas endógenas, tecidos microbianos e resíduos indigestíveis provenientes do processo de fermentação, com o valor nutricional da dieta, sendo capaz de detectar similaridade entre estas amostras (Jean et al., 2014). Após o desenvolvimento de modelos de calibração robusto com NIRS fecal serão necessárias apenas pequenas quantidades de amostras de fezes para caracterizar a composição da dieta de animais em pastejo, sendo dispensável a coleta total de fezes (Schiborra et al., 2015). Contudo, os custos com equipamento, treinamento com as pessoas e o número elevado de amostras fecais, a qual se deseja amostrar, tem sido visto como empecilho para o uso da técnica (Coughenour e Makkar, 2012).

O uso dos modelos de NIRS fecal foram retratados pela primeira vez por Brooks et al. (1984), os quais desenvolveram modelos fecais para alces no Alasca e posteriormente, Lyons e Stuth (1992), na universidade de Texas A&M utilizaram bovinos fistulados no esôfago e desenvolveram modelos para PB e DMO. As avaliações feitas para estimativas da qualidade da dieta utilizando NIRS fecal incluem principalmente as determinações de PB e DMO, que são utilizadas para determinar os balanços de proteína e energia.

Vários estudos mostram o potencial da espectroscopia NIR nas fezes para prever a composição da dieta, abrangendo vários locais como: Argentina, Austrália, Brasil, Estados Unidos, Etiópia, Hungria, Quênia, Japão, Tanzânia e Uganda (Decruyenaere et al., 2013). A sua aplicação foi feita também para diferentes espécies, tais como: bovinos de corte (Tolleson e Schafer, 2014; Landau et al., 2016; Jancewicz et al., 2017; Johnson et al., 2017); Vaca leiteira (Althaus et al., 2013; Ottavian et al., 2015); Ovinos (Kneebone e Dryden, 2015; Gindri, 2016); Alces (Tolleson et al., 2012); Caprinos das montanhas (Gálvez-Cerón et al., 2013). Além da avaliação do valor nutricional da dieta, a técnica NIR fecal vem sendo utilizada para determinação do consumo (Hassoun et al., 2013; Johnson et al., 2017) e composição botânica da dieta (Walker et al., 2015; Núñez-Sánchez et al., 2016).

Embora bastante difundida no mundo, poucos trabalhos foram desenvolvidos no Brasil para adaptá-la às condições tropicais, especialmente para avaliação da dieta de animais em pastagens nativas. O primeiro trabalho realizado no Brasil foi feito por Cox et al. (2000), os quais avaliaram a composição da dieta de ovinos em pastagem nativa de caatinga. Após 13 anos do trabalho citado anteriormente, foram retomadas as pesquisas com NIRS fecal no Brasil, onde se tem realizado a avaliação da dieta de caprinos e ovinos em pastagem nativa de caatinga, nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco e nos Pampas no estado do Rio Grande do Sul. Esse longo período para retorno das pesquisas com NIRS fecal pode estar relacionado com a dificuldade de se trabalhar com animais em pastejo, principalmente aqueles em pasto de caatinga quando comparados com pesquisas com animais em confinamento.

Para se alcançar bons resultados nas predições utilizando o método NIRS fecal são necessárias amostras de pasto que representem o real consumo pelo animal. Assim, devem-se obter pares de dietas - fezes, onde a amostra analisada como referência deve ser representativa da dieta consumida pelos animais e a amostra de fezes deve contemplar a mesma dieta analisada. Em razão da dificuldade de se obter a amostra que represente o real consumo por animais a pasto, os estudos com animais a campo são menores quando comparados com animais confinados, apesar de ocorrer também variações na composição da dieta de animais em confinamento. Coleman (2010) ressaltou a dificuldade de compor a amostra de referência de animais em pastagem, pois o mesmo observou que animais na mesma área, consumiam no dia 1, dietas diferentes dos dias 2 e 3, provavelmente pelo aumento da pressão de pastejo, obtendo falhas na composição desta amostragem, pois as fezes não eram representativas da dieta daquele dia.

Para compor esta dieta, algumas técnicas vêm sendo utilizadas, tais como: corte manual do pasto e fornecimento em cochos para animais estabulados, simulação de pastejo e animais fistulados no esôfago ou rúmen (Dixon e Coates, 2015). O uso das técnicas para representar a dieta selecionada pelos animais em pastejo traz controvérsias entre diversos autores, destacando as vantagens e desvantagens de cada uma destas.

A coleta da dieta selecionada, seja por meio de pastejo simulado, corte da forragem, ou extrusa esofágica ou ruminal devem seguir procedimentos rigorosos na coleta de campo, com posteriores protocolos analíticos no laboratório. Na coleta de campo a amostra que irá representar os pares dietas - fezes devem estar dentro de um intervalo onde o resíduo indigestível nas fezes represente a dieta. Assim, a representação desta dieta deve ser feita com precaução, pois podem ocorrer erros aos espectros fecais se a amostra de referência não representar verdadeiramente o real consumo. É importante que o conjunto de dados abranja toda a variedade da população, a qual deseja amostrar, tais como: diversidade de espécies, crescimento, partes da planta, clima e tipo de solo, além de reduzir os erros laboratoriais relacionadas às amostras de referência.

Alguns trabalhos foram realizados nestes últimos cinco anos (Tabela 4) para prever a qualidade da dieta selecionada por animais a pasto em diferentes condições. O que se pode observar é que em razão da dificuldade da obtenção de animais fistulados, principalmente por questões de ética e bem-estar na experimentação animal, grande parte dos estudos foi realizado com animais confinados para tentar representar a dieta de animais em pastejo, como pode ser visto nos trabalhos abaixo.

Apesar da técnica NIR fecal poder ser usada para prever potencialmente, quaisquer compostos orgânicos da dieta, o desempenho dos modelos não é semelhante para todos, variando dependendo do parâmetro de interesse. Os modelos para determinação de PB, por exemplo, costumam ter alta previsibilidade, enquanto a DMS ou DMO mostram respostas mais variáveis. Isto foi confirmado por Johnson et al. (2017), os quais trabalharam com bovinos em confinamento e obtiveram  $R^2$  de calibração de 0,90 para PB, 0,87 e 0,85 para DMS e FDN, respectivamente e validação cruzada de 0,88 para PB e 0,82 para FDN e DMS.

Como se observou a partir dos resultados de pesquisas verificou-se o potencial do uso da técnica NIRS como ferramenta para determinação da composição da dieta de ruminantes em pastejo. No entanto, esta deve estar associada ao consumo e as exigências nutricionais dos animais para que possa ser feito um acompanhamento do *status* nutricional, e assim dar suporte ao produtor no planejamento de acordo com os períodos e fase produtiva do animal.

Tabela 4 - Uso da técnica NIRS fecal em estudos de avaliação da dieta de animais em pastejo nos últimos cinco anos. Calibrações e validações é para os parâmetros de nitrogênio total (N-Total), nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>4</sub>), proteína bruta (PB), digestibilidade da matéria seca (DMS) e matéria orgânica (DMO), cinzas, fibra em detergente neutro (FDN), extrato etéreo (EE) e carboidratos não fibrosos (CNF).

Tipo de dieta/Referência	Local	Espécie	Parâmetros	N	Calibração		Validação	
					R <sup>2</sup> cal.	SEC	R <sup>2</sup> val.	SECV
<i>Diferentes sistemas de produção</i>								
Althaus et al. (2013)	Alemanha	Vacas leiteiras	N – Total	53	0,97	0,7	0,85	1,50
			N - NH <sub>4</sub>	53	0,92	0,2	0,64	0,40
<i>Somente forragem</i>								
Decruyenaere et al. (2013)	Bélgica	Ovinos	DMO <sup>A</sup>	951	0,92	0,02		0,02
Gálvez-Cerón et al. (2013)	Espanha	Cabras selvagens	Nitrogênio	291	0,97	0,08	0,97	0,08
Gindri (2016)	Brasil	Ovinos	PB	55	0,90	0,54	0,85	0,64
			DMO <sup>B</sup>	49	0,89	1,92	0,78	2,83
<i>Forragem + concentrado</i>								
Kneebone e Dryden (2015)	Austrália	Ovinos	DMS <sup>C</sup>	99	0,86	0,030	0,81	0,03
			DMO <sup>C</sup>	99	0,85	0,0031	0,80	0,03
Landau et al. (2016)	Israel	Bovinos de corte	Cinzas	111	0,87	1,5	0,83	1,60
			PB	118	0,89	1,0	0,81	1,30
			FDN	111	0,89	3,5	0,86	3,90
			DMO <sup>A</sup>	109	0,91	0,28	0,89	0,31
Núñez-Sánchez et al. (2016)	Espanha	Ovinos	Cinzas	94			0,93	0,52
			PB	91			0,89	0,96
			EE	94			0,80	0,29
			FDN	92			0,95	3,45
			CNF	92			0,94	3,87

Número de amostras - N; Erro padrão da calibração - SEC; Erro padrão da validação cruzada - SECV; Coeficiente de determinação da calibração - R<sup>2</sup> cal; Coeficiente de determinação da validação - R<sup>2</sup> val; Digestibilidade foi mensurada usando procedimentos *in vitro* (A), *in situ* (B) e *in vivo* (C).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGREIL, C.; FRITZ, H.; MEURET, M. Maintenance of daily intake through bite mass diversity adjustment in sheep grazing on heterogeneous and variable vegetation. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 91, p. 35-56, 2005.
- AKIN D. E.; WILSON J. R.; WINDHAM W. R. Site and rate of tissue digestion in leaves of C3, C4 and C3 / C4 intermediate types of Panicum species. **Crop Science**, v. 23, p. 147-55, 1983.
- ALTHAUS, B.; PAPKE, G.; ALBERT, S. Technical note: Use of near infrared reflectance spectroscopy to assess nitrogen and carbon fractions in dairy cow feces. **Animal Feed Science**, v. 185, n. 1-2, p. 53-59, 2013.
- AMIT, M. et al. Self-medication with tannin-rich browse in goats infected with gastrointestinal nematodes. **Veterinary Parasitology**, v. 198, n. 3-4, p. 305-311, 2013.
- ANDRADE-LIMA, D. The caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 4, p. 149-163, 1981.
- ANDRADE, A. P. et al. Produção animal no semiárido: o desafio de disponibilizar forragem, em quantidade e com qualidade, na estação seca. **Revista de Tecnologia Ciência Agropecuária**, v. 4, n. 4, p. 01-14, 2010.
- ARAUJO, A. M. **Monitoramento de Processos em Tempo Real via Espectrofotometria no Infravermelho Proximo**. 2007. 88f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Processos), Universidade Tiradentes, Sergipe - SE, 2007.
- ARAÚJO, A. R. **Composição botânica e qualidade do pasto selecionado por ovelhas em caatinga raleada e enriquecida**. 2015. 124 f. Tese (Doutorado em Zootecnia), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 2015.
- ARAÚJO FILHO, J. A. **Manipulação da vegetação lenhosa da caatinga para fins pastoris**. Sobral, CE: Embrapa-CNPC, 1992, 18 p. (Circular Técnica).
- ARAÚJO FILHO, J. A. et al. Composição botânica e química da dieta de ovinos e caprinos em pastoreio combinado na região dos Inhamuns, Ceará. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 25, p. 383-395, 1996.
- ARAÚJO FILHO, J. A. **Aspectos zooecológicos e agropecuários do caprino e do ovino nas regiões Semiáridas**. Sobral, CE: Embrapa-CNPC, 2006, 28 p.
- ARAÚJO FILHO, J. A. **Manejo pastoril sustentável da Caatinga**. 22. ed. Recife, PE: Projeto Dom Helder Câmara, 2013.
- AURELI, R. et al. Use of near infrared reflectance spectroscopy to predict phytate phosphorus, total phosphorus, and crude protein of common poultry feed ingredients. **Poultry Science**, v. 96, n. 1, p. 160-168, 2017.

BAKKE, O. A. et al. Produção e utilização da forragem de espécies lenhosas da caatinga. In: GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V.; SÁ, B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 160-179.

BALABIN, R. M.; SAFIEVA, R. Z.; LOMAKINA, E. L. Gasoline classification using near infrared (NIR) spectroscopy data: comparison of multivariate techniques. **Analytica Chimica Acta**, v. 671, p. 27-35, 2010.

BALAGE, J. M. et al. Predicting pork quality using Vis/NIR spectroscopy. **Meat Science**, v. 108, p. 37-43, 2015.

BANSOD, S. J.; THAKRE, S. Near Infrared Spectroscopy based soil nitrogen measurement - a review. **International Journal of Current Engineering and Technology**, v. 4, n. 1, p. 269-272, 2014.

BATISTA, F. R. R. **Uso potencial do infravermelho próximo na discriminação de madeira e carvão de espécies da caatinga**. 2016. 91 f. Dissertação (Mestrado), Universidade de Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

BAUER, M. O. et al. Análise micro-histológica da composição botânica de misturas preestabelecidas submetidas ao processo de digestão *in vitro*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 6, p. 1851-1859, 2005.

BONNET, O. et al. Is hand plucking an accurate method of estimating bite mass and instantaneous intake of grazing herbivores? **Rangeland Ecology & Management**, v. 64, p. 366-374, 2011.

BORCHERT, R. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. **Journal of Ecology**, v. 75, n. 5, p. 1437-1449, 1994.

BORCHERT, R. Climatic periodicity, phenology, and cambium activity in tropical dry forest trees. **IAWA Journal**, v. 20, n. 3, p. 239-247, 1999.

BORCHERT, R.; RIVERA, G. Photoperiodic control of seasonal development and dormancy in tropical stem succulent trees. **Tree Physiology**, v. 21, n. 1, p. 213-221, 2001.

BORRAS, E. et al. Data fusion methodologies for food and beverage authentication and quality assessment - a review. **Analytica Chimica Acta**, v. 891, p. 1-14, 2015.

BRERETON, R. G. **Chemometrics for pattern recognition**, Wiley: Chichester, 2009. 522 p.

BRITO, C. J. F. A.; ALQUINI, Y.; RODELLA, R. A. Alterações histológicas de três ecotipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum Schum.*), após digestão *in vitro*. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34, 1997, Juíz de Fora - MG, **Anais...** Juíz de Fora: SBZ, 1997, v.2, p.12-14, 369p, 1997.

BRITO, C. J. F. A. et al. Anatomia quantitativa e degradação *in vitro* de tecidos em cultivares de capim elefante (*Pennisetum purpureum Schum.*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 28, n. 2, p. 223-229, 1999.

BRITO, C. J. F. A.; RODELLA, R. A.; DESCHAMPS, F. C. Anatomia quantitativa da folha e do colmo de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf e *B. humidicola* (Rendle) Schweick. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 3, p. 519-528, 2004.

BROOKS, J.; ANDERSON, M.; URNESS, P. J. Infrared reflectance analysis of forage quality for elk. **Journal Wildlife Manage**, v. 48, p. 254-258, 1984.

BRYANT, F. C.; TAYLOR, C. A.; MERRILL, L. B. White-tailed deer diets from pastures in excellent and poor condition. **Journal Range Manage**, v. 34, n. 3, p. 193-200, 1981.

CALDAS, G. G. et al. Caracterização morfológica e química de *Mimosa caesalpinifolia* submetida à adubação com P. **Archivos de Zootecnia**, v. 59, n. 228, p. 529-538, 2010.

CALDEIRA, R. R. **Avaliação da produção e da qualidade do capim *Panicum maximum* cv. Massai**. 2016. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal), Universidade de Brasília, 2016.

CARVALHO, P. C. F. et al. Avanços metodológicos na determinação do consumo de ruminantes em pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, suplemento especial, p. 151-170, 2007.

CARVALHO, B. M. A. et al. Rapid detection of whey in milk powder samples by spectrophotometric and multivariate calibration. **Food Chemistry**, v. 174, p. 1-7, 2015.

CHADHAA, R.; HANEEF, J. Near-Infrared Spectroscopy: effective tool for screening of polymorphs in pharmaceuticals. **Applied Spectroscopy Reviews**, v. 50, n. 7, p. 566-582, 2015.

CHURCH, D. C. **Digestive physiology and nutrition of ruminants**. 2. ed. Portland, OR, USA: Oxford Press, 1976, 375 p.

COLEMAN, S. **Historic overview for fecal NIRS analysis**. Shining Light on Manure Improves Livestock and Land Management Technical Bulletin, 2010.

CONNOR, J. M. et al. Nutritive evaluation of summer range forage with cattle. **Journal Animal Science**, v. 22, n. 4, p. 961-969, 1963.

CORREIA, R. C. et al. A região semiárida brasileira. Produção de caprinos e ovinos no Semiárido. In: VOLTOLINI, T. V. **Produção de caprinos e ovinos no Semiárido**. Edição 2011. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. cap. 1, p. 21-48.

COSTA C. C. A et al. Análise comparativa da produção de serapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de caatinga na Flora de Açú - RN. **Árvore**, v. 34, n. 2, p. 259-265, 2010.

COUGHENOUR, M. B.; MAKKAR, H. P. S. FAO: Conducting national feed assessments. **Animal Production and Health Manual**, n.15, 2012.



COX, M.; VASCONCELOS, V. R.; LEITE, E. R. Utilização da técnica da Espectroscopia e Reflectância do Infravermelho Próximo (NIRS) na determinação do valor nutricional da dieta de ovinos em Caatinga. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 2, n. 1, p. 31-40, 2000.

COZZOLINO, D. et al. A brief introduction to multivariate methods in grape and wine analysis. **International Journal of Wine Research**, v. 1, p. 123-130, 2009.

CROCKER, B. H. A method of estimating the botanical composition of the diet of sheep. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 2, n. 1, p. 72-85, 1959.

DANTAS, J. G. et al. Estrutura do componente arbustivo/arbóreo de uma área de caatinga situada no município de Pombal-PB. **Revista Verde**, v. 5, n. 1, p. 134-142, 2010.

DECRUYENAERE, V. et al. **Evaluation of the repeatability of near infrared reflectance spectroscopy applied to faeces for predicting diet characteristics of grazing ruminants.** In: ICNIRS, 2013, p.1-5.

DEVOS, O.; DOWNEY, G.; DUPONCHEL, L. Simultaneous data pre-processing and SVM classification model selection based on a parallel genetic algorithm applied to spectroscopic data of olive oils. **Food Chemistry**, v. 148, p. 124-130, 2014.

DIXON, R. M.; COATES, D. B. **Application of faecal near infrared spectroscopy to manage the nutrition and productivity of grazing ruminants.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FORAGES IN WARM CLIMATES, 2015, Lavras, p. 207-230.

DOURADO, A. C. P. **Herbivoria em espécies decíduas e perenes da caatinga no Nordeste do Brasil.** 2014. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Itapetinga: UESB, 2014.

DOVE, H.; MAYES, R. W. The use of plant wax alkanes as marker substances in studies of the nutrition of herbivores: a review. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 42, n. 6, p. 913-952, 1991.

DOVE, H.; FREER, M.; FOOT, J. Z. The nutrition of grazing ewes during pregnancy and lactation: a comparison of alkane-based and chromium/in vitro-based estimates of herbage intake. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 51, n. 6, p. 765-777, 2000.

DOVE, H.; MAYES, R. W. Using *n*-alkanes and other plant wax components to estimate intake, digestibility and diet composition of grazing/browsing sheep and goats. **Small Ruminant Research**, v. 59, n. 2-3, p. 123-139, 2005.

DRUMOND, M. A. et al. Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da caatinga. In: **Avaliação e identificações de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade do bioma caatinga.** Seminário “Biodiversidade da Caatinga”, Pernambuco: Petrolina. Embrapa Semiárido, 2000.

ELWERT, C.; DOVE, H.; RODEHUTSCORD, M. Faecal alkane recoveries from multi-component diets and effects on estimates of diet composition in sheep. **Animal**, v. 2, n. 1, p. 125-134, 2008.

ENGEL, J. et al. Breaking with trends in pre-processing? **Trends in analytical chemistry**, v. 50, p. 96-106, 2013.

FAN, S. et al. Effect of spectrum measurement position variation on the robustness of NIR spectroscopy models for soluble solids content of apple. **Biosystems engineering**, v. 143, p. 9-19, 2016.

FERREIRA, L. M. M. et al. Assessment of very long-chain fatty acids as complementary or alternative natural fecal markers to n-alkanes for estimating diet composition of goats feeding on mixed diets. **Journal Animal Science**, v. 87, n. 8, p. 2732-2745, 2009.

FOLEY, J. W. et al. Ecological application of near infrared reflectance spectroscopy - a tool for rapid, cost-effective prediction of the composition of plant and animal tissues and aspects of animal performance. **Oecologia**, v. 116, p. 293-306, 1998.

FORMIGA, L. D. A. S. et al. Valor nutritivo da vegetação herbácea de caatinga enriquecida e pastejada por ovinos e caprinos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 12, n. 2, p. 403-415, 2011.

FU, X. YING, Y. Food safety evaluation based on Near Infrared Spectroscopy and imaging: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, n. 11, p. 1913-1924, 2016.

GÁLVEZ-CERÓN, A. et al. Predicting seasonal and spatial variations in diet quality of Pyrenean chamois (*Rupicapra pyrenaica pyrenaica*) using near infrared reflectance spectroscopy. **European Journal of Wildlife Research**, v. 121, p. 59-115, 2013.

GEDIR, J. V.; HUDSON, R. J. Seasonal intake determination in reproductive wapiti hinds (*Cervus elaphus canadensis*) using n-alkane markers. **Journal Animal Science**, v. 80, p. 137-144, 2000.

GETACHEW, G. **Tannins in tropical multipurpose tree species: localization and quantification of tannins using histochemical approaches and the effect of tannins on *in vitro* rumen fermentation**. Stuttgart: Verlag Ulrich E. Grauer, 1999.186 p.

GINDRI, M. **Uso do NIRS como ferramenta de diagnóstico nutricional de ovinos mantidos em pastagem natural**. 2016. 77 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2016.

GUO, J. et al. Research on the trash content measurement and classification of ginned cotton by using NIR spectroscopy technique. **Applied Spectroscopy Review**, v. 30, n. 3, p. 649-653, 2010.

HASSEN, A. et al. Influence of season/year and species on chemical composition and *in vitro* digestibility of five *Indigofera* accessions. **Animal Feed Science and Technology**, v. 136, n. 3-4, p. 312-322, 2007.

HASSOUN, P. et al. A method for estimating dry forage intake by sheep using polyethylene glycol as a faecal marker measured with NIRS. **Animal**, v. 7, n. 8, p. 1280-1288, 2013.

HE, W.; HU, H. Rapid prediction of different wood species extractives and lignin content using near infrared spectroscopy. **Journal Wood Chemistry Technology**, v. 33, p. 52-64, 2013.

HOFFMAN, R. R. Anatomy of the gastro-intestinal tract. In: CHURCH, D.C. (Ed.). **The ruminant animal: digestive physiology and nutrition**. Portland, O&B Books, Inc., 1988. p. 14-43.

HOLANDA, A. C. **Estrutura da comunidade arbustivo-arbórea e suas interações com o solo em uma área de caatinga, pombal-PB Recife**. 2012. 164 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.

HOLECHEK, J. L.; VAVRA, M. The effect of slide and frequency observation numbers on the precision of microhistological analysis. **Journal Range Manage**, v. 34, n. 4, p. 337-338, 1981.

HOLECHECK, J. L.; VAVRA, M.; PIEPER, R. D. Methods for determining the nutritive quality of range ruminant diets: A review. **Journal of Animal Science**, v. 54, n. 2, p. 363-376, 1982.

HUGO, A; SARAIVA, M. **Um Ecossistema Legitimamente Brasileiro**. 2006. Disponível em: <[http://www.unilasalle.edu.br/arquivos/graduacao/biologia/docs/manejo\\_2.pdf](http://www.unilasalle.edu.br/arquivos/graduacao/biologia/docs/manejo_2.pdf)>. Acesso em: 05 abr. 2017.

JANCEWICZ, L. J. et al. Predicting fecal nutrient concentrations and digestibilities and growth performance in feedlot cattle by near-infrared spectroscopy. **Journal Animal Science**, v. 95, p. 455-474, 2017.

JEAN, P. O. et al. Near Infrared Spectroscopy and fecal chemistry as predictors of the diet composition of white-tailed deer. **Rangeland Ecology & Management**, v. 67, n. 2, p. 154-159, 2014.

JOHNSON, J. R. et al. Application of fecal near-infrared reflectance spectroscopy profiling for the prediction of diet nutritional characteristics and voluntary intake in beef cattle. **Journal Animal Science**, v. 95, p. 447-454, 2017.

KARTCHNER, R. J.; CAMPBELL, C. M. **Intake and digestibility of range forages consumed by livestock**. Mont. Agr. Exp. Sta. and USDA, SEA-AR Bull, 1979. 718 p.

KELI, A. et al. Validation of the n-alkane and NIRS techniques to estimate intake, digestibility and diet composition in sheep fed mixed lucerne ryegrass diets. **Livestock Science**, v. 119, n. 1-3, p. 42-54, 2008.

KNEEBONE, D. G.; DRYDEN, A. B. D. Prediction of diet quality for sheep from faecal characteristics: comparison of near-infrared spectroscopy and conventional chemistry predictive models. **Animal Production Science**, v. 55, p. 1-10, 2015.

LANDAU, S. Y. et al. Anthelmintic activity of Pistacia lentiscus foliage in two middle eastern breeds of goats differing in their propensity to consume tannin-rich browse. **Veterinary Parasitology**, v. 173, n. 3-4, p. 280-286, 2010.

LANDAU, S. Y. et al. Faecal near-IR spectroscopy to determine the nutritional value of diets consumed by beef cattle in east Mediterranean rangelands. **Animal**, v. 10, n. 2, p. 192-202, 2016.

LANGLANDS, J. P. Studies on the nutritive value of the diet selected by grazing sheep. I. Differences in composition between herbage consumed and material collected from esophageal fistula. **Journal of the British Society**, v. 8, n. 2, p. 253-259, 1966.

LANGLANDS, J. L. Assessing the nutrients status of herbivores. In: **The nutrition of herbivores**. (J.B. Hacker and J.H. Ternouth eds), Academic Press. Sydney, 1987. p. 363-390.

LEITE, E. R.; ARAUJO FILHO, J. A.; PINTO, F. C. Pastoreio combinado de caprinos com ovinos em caatinga rebaixada: desempenho da pastagem e dos animais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 8, p. 1129-1134, 1995.

LEITE, E. R.; STUTH, J. W. Fecal NIRS equations to assess diet quality of free ranging goats. **Small Ruminant Research**, v. 15, n. 3, p. 223-230, 1995.

LEMPP, B. Avanços metodológicos da microscopia na avaliação de alimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 315-329, 2007.

LESPERANCE, A. L.; BOHMAN, V. R.; MARBLE, D. W. Development of techniques for evaluating grazed forage. **Journal Dairy Science**, v. 43, n. 5, p. 682-689, 1960.

LESPERANCE, A. L. et al. **Factors affecting the apparent chemical composition of fistula samples**. Universidade de Nevada, Estação Experimental, 1974. 30 p.

LIMA, R. P. et al. Aporte e decomposição da serapilheira na caatinga no sul do Piauí. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 42-49, 2015.

LISONBEE, L. D. et al. Tannins and self-medication: implications for sustainable parasite control in herbivores. **Behavioural Processes**, v. 82, n. 2, p. 184-189, 2009.

LISTA, F. N. et al. Avaliação de métodos de amostragem qualitativa em pastagens tropicais manejadas em sistema rotacionado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 5, p. 1413-1418, 2007.

LOHUMI, S. et al. A review of vibrational spectroscopic techniques for the detection of food authenticity and adulteration. **Trends Food Science Technology**, v. 46, p. 85-98, 2015.

LÓPEZ, A. et al. A review of the application of Near-Infrared Spectroscopy for the analysis of potatoes. **Agricultural Food Chemistry**, v. 61, n. 23, p. 5413-5424, 2013.

LUCAS, R. C. **Características nutricionais e fatores antinutricionais na fermentação ruminal *in vitro* de espécies arbóreo-arbustivas nativas e exóticas em área de caatinga no Sertão de Pernambuco**. 2012. 90 f. Tese (doutorado em Energia Nuclear na agricultura e no ambiente), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

LUO, Y. et al. Rapid quantification of multi-components in alcohol precipitation liquid of *Codonopsis Radix* using NIR spectroscopy. **Journal of Zhejiang University (Biomedicine & Biotechnology)**, v. 18, n. 5, p. 383-392, 2016.

LYONS, R. K.; STUTH, J. W. Fecal NIRS equations for predicting diet quality of free-ranging cattle. **Journal Range Manage**, v. 45, p. 238-244, 1992.

MANDRET, G. Regime alimentaire des ruminants domestiques (bovins, ovins, caprins) exploitant des parcours naturels sahéliens et soudano-sahéliens. III. Caractères épidermiques des principales espèces végétales consommées au pâturage: Constitution d'un atlas de référence en vue de l'étude du régime alimentaire. **Revue Élevage Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux**, v. 42, n. 2, p. 237-243, 1989.

MCINNIS, M. L.; VAVRA, M.; KRUEGER, W. C. A comparison of four methods used to determine the diets of large herbivores. **Journal of Range Management**, v. 36, n. 3, p. 302-306, 1983.

MEURET, M.; BARTIAUX-THILL, N.; BOURBOUZE, A. Feed-intake of dairy goats on rangelands - direct observation of biting method - chromic oxide method. **Annales de Zootechnie**, v. 34, n. 2, p. 159-179, 1985.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL - **Semiárido Brasileiro**. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/semiario-brasileiro>>. Acesso em: 26 mai. 2017.

MOORE, J. E. Forage quality, evaluation and utilization. In: NATIONAL CONFERENCE ON FORAGE QUALITY, EVALUATION AND UTILIZATION, Lincoln, 1994. **Proceedings...** Lincoln: University of Nebraska, 1994. p. 967-998.

MOREIRA, J. N. et al. Caracterização da vegetação de caatinga e da dieta de novilhos no sertão de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 11, p. 1643-1651, 2006.

MUÑIZ, B. et al. Fundamentos e estado da arte da espectroscopia no infravermelho próximo no setor de base florestal. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 4, p. 865-875, 2012.

MURRAY, I.; WILLIAMS, P. C. **Chemical principles of near-infrared technology**, p 17-34. In: P. Williams, and K. Norris (eds). Near infrared technology in agricultural and food industries. Amer. Assoc. of Cereal Chem., Inc. St. Paul, Minn, 1987.

NAES, T. et al. A user-friendly guide to multivariate calibration and classification. **Journal of Chemometrics**, v. 17, p. 221-259, 2002.

NUNES, A. T. et al. Plants used to feed ruminants in semi-arid Brazil: A study of nutritional composition guided by local ecological knowledge. **Journal of Arid Environments**, v. 135, p. 96-103, 2016.

NÚÑEZ-SÁNCHEZ, N. et al. Evaluation of botanical and chemical composition of sheep diet by using faecal near infrared spectroscopy. **Animal Feed Science and Technology**, v. 222, p. 1-6, 2016.

OLIVEIRA, F. R. B. **Valor nutricional e consumo de plantas arbóreas, arbustivas e herbáceas nativas da caatinga**. 2010. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal), Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Campus de Ciências Agrárias, 2010.

OLIVEIRA, M. C. P. P. **Espectrofotometria no infravermelho-por metodologia FTIR (Fourier Transform Infrared): Validação da análise do teor de ureia e de outros parâmetros de qualidade do leite**. 2011. 70 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) - Escola de Veterinária de Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

OLIVEIRA, A. D. P. **Utilização de métodos quimiométricos para análise quantitativa de glibenclamida comprimido utilizando as espectroscopias de infravermelho próximo e raman - desenvolvimento e validação de uma estratégia de pat.** 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

OLIVEIRA, G. A. et al. Comparison of NIRS approach for prediction of internal quality traits in three fruit species. **Food Chemistry**, v. 143, p. 223-230, 2014.

OLIVEIRA, O. F. et al. Características quantitativas e qualitativas de Caatinga raleada sob pastejo de ovinos, Serra Talhada (PE). **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 223-229, 2015.

OLSON, K. C. Diet sample collection by esophageal fistula and rumen evacuation techniques. **Journal of Range Management**, v. 44, n. 5, p. 515-519, 1991.

OSBORNE, B.G; FEARN, T. **Near Infrared Spectroscopy in Food Analysis**, Wiley, New York, 1986, p. 35-40.

OTTAVIAN, M. et al. Application of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) on faecal samples from lactating dairy cows to assess two levels of concentrate supplementation during summer grazing in alpine pastures. **Animal Feed Science and Technology**, v. 202, p. 100-105, 2015.

PEIXOTO, R. M. et al. Antibacterial potential of native plants from the caatinga biome against *staphylococcus* spp. isolates from small ruminants with mastites. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 3, p. 758-763, 2016.

PEREIRA FILHO, J. M. et al. Manejo da caatinga para produção de caprinos e ovinos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 1, p. 77-90, 2013.

PETER, A. M. B. **Composição botânica e química da dieta de bovinos, caprinos e ovinos em pastejo associativo na caatinga nativa do semiárido de Pernambuco**. 1992. 86 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1992.

PFISTER, J. A.; MALECHEK, J. C. The voluntary forage intake and nutrition of goats and sheep in the semi-arid tropics of Northeastern Brazil. **Journal of Animal Science**, v. 63, p. 1078-1086, 1986.

PILUZZA, G.; SULAS, L.; BULLITTA, S. Tannins in forage plants and their role in animal husbandry and environmental sustainability: a review. **Grass and Forage Science**, v. 69, n. 1, p. 32-48, 2014.

PIMENTEL, J. C. N. et al. Composição botânica da dieta de ovinos em área de caatinga raleada no sertão do Ceará. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 21, n. 2, p. 211-241, 1992.

PRADO, D. E. et al. **As Caatingas da América do Sul**. Ecologia e a Conservação da Caatinga. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003. p. 3-73.

QU, J. H. et al. Applications of Near-infrared Spectroscopy in food safety evaluation and control: a review of recent research advances. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 55, n. 13, p. 1939-1954, 2015.

RAJALAHTI, T.; KVALHEIM, O. M. Multivariate data analysis in pharmaceuticals: A tutorial review. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 417, p. 280-290, 2011.

RICE, R. W. **Stomach content analysis: a comparison of the rumen vs. esophageal techniques**. In: RANGE AND WILDLIFE HABITAT EVALUATION-A RESEARCH SYMPOSIUM. US Dep. Agric. For. Serv. Misc. Publ. 1970. p. 127-132.

RINNAN, A. et al. Predicting the ethanol potential of wheat straw using near-infrared spectroscopy and chemometrics: The challenge of inherently intercorrelated response functions. **Analytica Chimica Acta**, v. 962, p. 15-23, 2017.

ROGGO, Y. et al. A review of near infrared spectroscopy and chemometrics in pharmaceutical technologies. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 44, p. 683-700, 2007.

ROSITO, J. M.; MARCHEZAN, E. Determinação de descritores foliares para identificação micro-histológica de espécies forrageiras. **Acta Scientiarum**, v. 25, n. 2, p. 407-413, 2003.

SANDERS, K. D.; DAHL, B. E.; SCOTT, G. Bite-count vs. fecal analyses for range animal diets. **Journal of Range Management**, v. 33, p. 146-149, 1980.

SANTANA, D. F. Y. et al. Caracterização da caatinga e da dieta de novilhos fistulados, na época chuvosa, no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 1, p. 69-78, 2011.

SANTOS, G. R. A. **Caracterização da vegetação e da dieta de ovinos em área de caatinga no sertão de Pernambuco**. 2007. 111 f. Tese (Doutorado em Zootecnia), Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2007.

SANTOS, G. R. A. S. et al. Determinação da composição botânica da dieta de ovinos em pastejo na Caatinga. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 10, p. 1876-1883, 2008.

SANTOS, G. R. A. et al. Composição química e degradabilidade *in situ* da ração em ovinos em área de caatinga no sertão de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 2, p. 384-391, 2009.

SANTOS P. S. et al. Diferenças sazonais no aporte de serapilheira em uma área de Caatinga em Pernambuco. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 4, p. 94-101, 2011.

SANTOS, A. F. et al. Infrared (Mir, Nir), Raman, and other spectroscopic methods. In: **Monitoring Polymerization Reactions: From Fundamentals to Applications**. 1. ed. 2014. p. 107-134.

SCHIBORRA, A. et al. Using faecal near-infrared spectroscopy (FNIRS) to estimate nutrient digestibility and chemical composition of diets and faeces of growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 210, p. 234-242, 2015.

SILVA, D. S. et al. Bromatologic composition of the herbaceous species of the Northeastern Brazil caatinga. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 4, p. 756-764, 2011.

SILVA, J. S. **Composição química e digestibilidade do pasto e da forragem selecionada por caprinos na caatinga**. 2012. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens), Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Garanhuns, 2012.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. **Princípios de Análise Instrumental**. 5ed. Editora Oficial da Sociedade Brasileira de Química, 2002.

SOUZA, E. B. **Aspectos florísticos e potencial forrageiro da caatinga**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL: BASES TEÓRICAS E PRÁTICAS DE EXPERIMENTAÇÃO COM PEQUENOS RUMINANTES EM PASTEJO DO NORDESTE BRASILEIRO, Fortaleza-CE, 2012.

SOUZA, C. et al. Disponibilidade e valor nutritivo da vegetação de caatinga no Semiárido norte Rio-grandense do Brasil. **Holos**, v. 3, n. 29, p. 196-204, 2013.

SPARKS, D. R.; MALECHEK, J. C. Estimating percentage dry weight in diets using a microscope technique. **Journal Range Manage**, v. 21, p. 264-265, 1968.

STUTH, J.; JAMA, A.; TOLLESON, D. Direct and indirect means of predicting forage quality through near infrared reflectance spectroscopy. **Field Crops Research**, v. 84, n. 1, p. 45-56, 2003.

TEYE, E. et al. Estimating cocoa bean parameters by FT-NIRS and chemometrics analysis. **Food Chemistry**, v. 176, p. 403-410, 2015.

THEURER, C. B. **Determination of botanical and chemical composition of the grazing animals diet**. In: NATL. CONFERENCE FORAGE QUALITY EVALUATION AND UTILIZATION. Nebraska Center for Continuing Education, Lincoln. 1970.

THEURER, C. B.; LESPERANCE, A. L.; WALLACE, J. D. **Botanical composition of the diet of livestock grazing native ranges**. Univ. Ariz. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull, 1976. 233 p.

TOLLESON, D. et al. The effects of a rotational cattle grazing system on elk diets in Arizona piñon-juniper rangeland. **Rangelands**, v. 34, n. 1, p. 19-25, 2012.



TOLLESON, D. R.; SCHAFER, D. W. Application of fecal near-infrared spectroscopy and nutritional balance software to monitor diet quality and body condition in beef cows grazing Arizona rangeland. **Journal Animal Science**, v. 92, n. 1, p. 349-358, 2014.

TORRES, I. et al. Developing universal models for the prediction of physical quality in citrus fruits analysed on-tree using portable NIRS sensors. **Biosystems engineering**, v. 153, p. 140-148, 2017.

TOSCAN, A. **Espectroscopia no infravermelho e método quimiométrico para a pesquisa de antimicrobianos em leite da microrregião de Pato Branco - PR**. 2016. 106 f. Dissertação (Mestrado em tecnologia de processos químicos e bioquímicos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

VALENTE, B. S. M. Composição químico-bromatológica, digestibilidade e degradação *in situ* da dieta de ovinos em capim-tanzânia sob três frequências de desfolhação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 1, p. 113-120, 2010.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. ed., Ithaca, New York (USA): Cornell University Press, 1994. 476 p.

VERAS, G. et al. Classificação de biodiesel na região do visível. **Química Nova**, v. 35, n. 2, p. 315-318, 2012.

VILLALBA, J. J. et al. Selection of tannins by sheep in response to gastrointestinal nematode infections. **Journal Animal Science**, v. 88, n. 6, p. 2189-2198, 2010.

WALKER, J. W. et al. Intermediate periodicities in juniper consumption and sampling strategies to estimate the diet of free-grazing goats. **Rangeland Ecology & Management**, v. 66, n. 2, p. 209-215, 2015.

WILSON, J. R.; MCLEOD, M. N.; MINSON, D. J. Particle size reduction of the leaves of a tropical and a temperate grass by cattle. II. Relation of anatomical structure to the process of leaf breakdown through chewing and digestion. **Grass and Forage Science**, v. 44, n. 1, p. 65-75, 1989.

WOLD, S.; SJÖSTROM, M.; ERIKSSON, L. PLS-regression: a basic tool of chemometrics. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**. v. 58, p. 109-130, 2001.

XU, H. et al. Variable selection in visible and near-infrared spectra: Application to on-line determination of sugar content in pears. **Journal of Food Engineering**, v. 109, p. 142-147, 2012.

ZIONY, M. H. et al. No major role for binding by salivary proteins as a defense against dietary tannins in Mediterranean goats. **Journal of Chemical Ecology**, v. 36, n. 7, p. 736-743, 2010.

ZONTOV, Y. V. et al. Chemometric aided NIR portable instrument for rapid assessment of medicine quality. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 131, p. 87-93, 2016.

## **CAPÍTULO 2**

---

Composição Botânica e Produção de Biomassa em Área de Caatinga, no Sertão dos Inhamuns

## RESUMO

Objetivou-se avaliar a dinâmica do pasto em área de caatinga, com base em parâmetros da composição botânica, aspectos fitossociológicos, cobertura do solo e vegetal, biomassa de forragem e valor nutricional do pasto, nos diferentes estratos e períodos em área de caatinga, na região dos Inhamuns. Foi utilizada uma área de 35 ha, onde foram traçados transectos paralelos, em intervalos de vinte metros. Em cada transecto foram colocadas hastes indicando os pontos amostrais para avaliação da composição florística, parâmetros fitossociológicos, cobertura vegetal, biomassa de forragem, definições de padrões visuais de massa de forragem e valor nutricional do pasto. Foram identificadas 81 espécies, das quais, as famílias mais representativas, em ordem decrescente estão distribuídas em: Convolvulaceae (8), Malvaceae (8), Poaceae (8), Asteraceae (6), Fabaceae Mimosoideae (5) e Fabaceae Caesalpinioideae (5), sendo estas correspondentes a 49,38% das espécies na área. A frequência das espécies foi influenciada pelo período, com maior número de espécies no período chuvoso, sendo que a caracterização do ciclo de vida destas pode ser associada com as respostas de frequências e representar a sua variação ao longo do ano. Ao considerar a forragem disponível do estrato arbustivo/arbóreo, o padrão de altura de 2,1 a 5 m foram os mais observados. Houve efeito ( $P < 0,05$ ) da biomassa de forragem, a cobertura do solo e vegetal e valor nutricional do pasto entre os estratos e os períodos, com as dicotiledôneas herbáceas, sendo as mais representativas no período chuvoso e com decréscimo nos demais períodos, semelhante ao estrato arbustivo/arbóreo. As monocotiledôneas e serapilheira mantiveram-se por mais tempo no período seco e transição seca/chuva. O uso de padrões visuais para estimativa da massa de forragem mostrou-se eficiente, e pode ser utilizado como técnica para monitorar a produção de forragem e assim, propiciar a tomada de decisões rápidas sobre o manejo da pastagem. As condições climáticas, relacionadas principalmente com a distribuição das chuvas, nos diferentes períodos e estratos avaliados afetaram a disponibilidade de massa de forragem, cobertura do solo e vegetal frequência de espécies forrageiras do estrato herbáceo, bem como o valor nutricional do pasto, obtendo melhores resultado no período chuvoso. Os índices para monitoramento da pastagem nativa de caatinga trazem informações relevantes da área de pastagem e assim, constituem uma ferramenta que contribui com o melhor gerenciamento dos recursos forrageiros.

**Palavras-chave:** forragem, frequência, manejo de pastagem, qualidade do pasto

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate pasture dynamics in a caatinga area, based on botanical composition, phytosociological aspects, soil and plant cover, forage biomass and pasture nutritional value, in the different strata and periods in the caatinga, in the region of Inhamuns. An area of 35 ha was used, where parallel transects was drawn at intervals of twenty meters. In each transect were placed rods indicating the sampling points for evaluation of floristic composition, phytosociological parameters, vegetal cover, forage biomass, definitions of visual patterns of forage mass and nutritional value of the pasture. A total of 81 species were identified, of which the most representative families, in descending order, are: Convolvulaceae (8), Malvaceae (8), Poaceae (8), Asteraceae (6), Fabaceae Mimosoideae (5) and Fabaceae Caesalpinioideae (5), corresponding to 49.38% of the species in the area. The frequency of the species was influenced by the period, with the highest number of species in the rainy season, and the characterization of the life cycle of these species can be associated with the frequency responses and represent their variation throughout the year. When considering the available forage of the shrub / tree stratum, the height pattern of 2.1 to 5 m were the most observed. There was an effect ( $P < 0.05$ ) of forage biomass, soil and plant cover and nutritional value of pasture between strata and periods, with herbaceous dicotyledons, being the most representative in the period of rainy and decreasing in the others periods, similar to the shrub / arboreal stratum. The monocotyledons and litter remained longer in the dry period and dry/rainy transition. The use of visual patterns to estimate the forage mass was efficient, and can be used as a technique to monitor forage production and thus to make quick decisions on pasture management. The climatic conditions, mainly related to the distribution of rainfall, in the different periods and strata evaluated affected the availability of forage mass, soil cover and vegetal frequency of forage species of the herbaceous stratum, as well as the nutritional value of the pasture, obtaining better results in the rainy period. The indices for monitoring the native pasture of caatinga bring relevant information from the pasture area and, thus, constitute a tool that contributes to the better management of the forage resources.

**Key words:** forage, frequency, pasture management, pasture quality

## INTRODUÇÃO

No Brasil, os sistemas de produção animal são baseados principalmente na criação a pasto (Silva et al., 2013), onde há uma área de aproximadamente 159 milhões de hectares, dos quais 64% corresponde à pastagens cultivadas e 36%, pastagens naturais (IBGE, 2006). No Semiárido brasileiro, a pastagem nativa de Caatinga, se destaca como principal recurso forrageiro, formada principalmente por estrato herbáceo e árvores e arbustos. O estrato herbáceo é efêmero, com maior representatividade no período das chuvas (Silva et al., 2000), enquanto as árvores e arbustos neste mesmo período, apresentam baixa oferta de forragem, uma vez que suas folhas encontram-se fora do alcance dos animais. Apenas no início do período seco que suas folhas caem, é que passam a compor a fitomassa disponível, porém muitas vezes, com baixo valor nutricional.

A vegetação da caatinga constitui uma das principais fontes de nutrientes para os ruminantes em sistemas de criação extensivos, as quais, conforme Holanda (2012) pode representar até 70% da composição na dieta de ruminantes. Porém, vale ressaltar, a variação da produção, composição florística, disponibilidade de fitomassa e valor nutricional, o que pode comprometer a estacionalidade produtiva do rebanho.

A produção total de fitomassa das espécies lenhosas e herbáceas na Caatinga atinge, em média, 4000 kg/ha, com grandes variações anuais, dependentes da pluviosidade e manejo, relacionados à forma e a intensidade do uso dos recursos forrageiros (Araújo Filho, 1992). Santos et al. (2010), citaram a grande variabilidade nos resultados das avaliações qualitativas e quantitativas das plantas da Caatinga. Nesse sentido, é preciso compreender os aspectos relacionados, a diversidade de espécies vegetais, a variação na quantidade e qualidade em função da distribuição das chuvas, seletividade de plantas e/ou partes das plantas pelas diferentes espécies animais e a presença de fatores antinutricionais (Bakke et al., 2010).

Assim, para incrementar os índices produtivos dos pequenos ruminantes criados em Caatinga é necessário se conhecer como ocorre a dinâmica do pasto em relação à disponibilidade de forragem, cobertura do solo e vegetal e valor nutricional nos diferentes estratos e em diferentes períodos dos anos para que se possa estabelecer e/ou propor manejos que visem o melhor uso do recurso forrageiro. Por outro lado, a manutenção de bons índices de produção animal a partir da vegetação da caatinga, sem comprometer a sua sustentabilidade, é o grande desafio.

Dessa forma, objetivou-se avaliar a dinâmica do pasto, com base em parâmetros da composição botânica, aspectos fitossociológicos, cobertura do solo e vegetal, biomassa de

forragem e valor nutricional do pasto, nos diferentes estratos e períodos e propor indicadores que auxiliem na identificação do grau de degradação em área de Caatinga, na região dos Inhamuns, Ceará.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Descrição do local do experimento

O trabalho foi realizado na fazenda da Escola Família Agrícola Dom Fragoso - EFA, localizada na comunidade de Santa Cruz (5° 23' 53" de latitude sul, 40° 18' 38" de longitude oeste, com altitude média de 351 m), situada a 14 km da sede do município de Independência, Ceará. O clima é caracterizado como tropical quente semiárido, com uma temperatura média de 26 a 28 °C, tendo como período chuvoso, principalmente os meses de fevereiro a abril (IPECE, 2016). Na Figura 1, estão apresentados os registros de precipitação pluviométrica da estação experimental da EFA, correspondente ao período de maio de 2014 a abril de 2015, com um total de 505,3 mm, no período experimental.

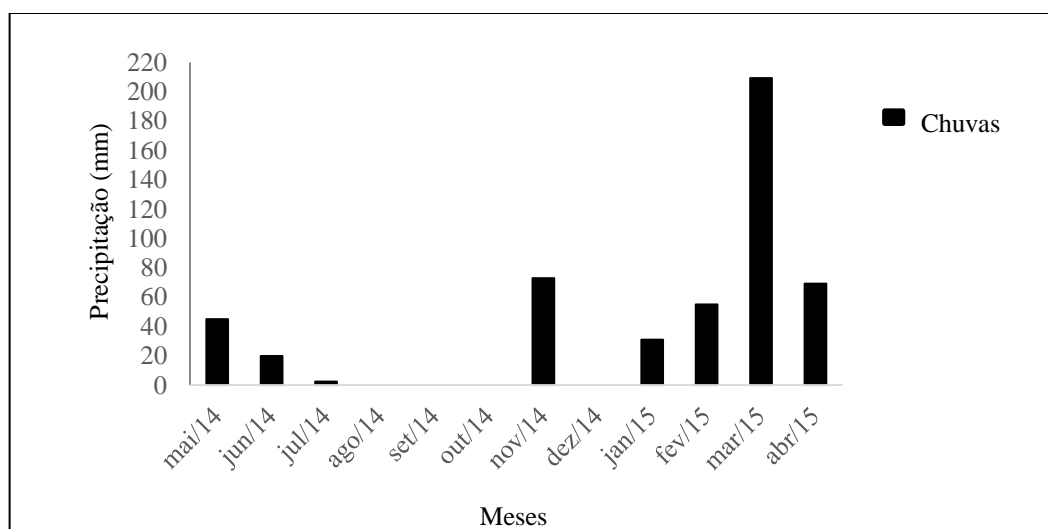


Figura 1 - Precipitação pluvial durante o período experimental, na EFA Dom Fragoso em Independência - CE.

Foi realizado um levantamento sobre a série histórica do regime de chuvas, dos últimos 20 anos na região e encontrou-se uma variação de 962,4 mm no ano 2009 a 74,4 mm no ano de 2012 (INMET, 2015). Nota-se que a média desses 20 anos (1996 - 2015) foi de

574,3 mm, o que mostra que no período de avaliação deste estudo, a precipitação pluvial ficou dentro da média esperada na região.

A vegetação predominante é a caatinga arbustiva aberta e floresta caducifolia espinhosa, sendo esta vegetação predominante em toda a região do Sertão dos Inhamuns (IPECE, 2016). A vegetação da área encontra-se em estágio de sucessão secundária, dominada por espécies herbáceas anuais e lenhosas arbóreas e arbustivas, algumas com baixo valor forrageiro, provavelmente, como consequência desta área ter sido utilizada anteriormente com atividades de agricultura itinerante e pecuária extensiva, sem o manejo pastoril adequado. Apresenta uma caatinga do tipo arbustivo-arbóreo, com altura entre 1 a 10 m, e presença de estrato herbáceo aberto. Os estratos arbustivo e arbóreo são dominados por cinco espécies, representando 97,45% da densidade total desses estratos, sendo representados por: *Croton sonderianus* Muehl. Arg. (marmeleiro), *Combretum leprosum* Mart. (mufumbo), *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (jurema preta), *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (catingueira) e *Mimosa caesalpinifolia* (sabiá). No estrato herbáceo, há a predominância das Famílias: Asteraceae, Convolvulaceae, Fabaceae, Malvaceae e Poaceae. Apesar da área se encontrar em estágio de sucessão secundária, a mesma possui uma alta capacidade de resiliência, encontrando-se uma alta diversidade de espécies vegetais, as quais podem contribuir para alimentação animal.

As avaliações foram feitas em uma área de 35 ha em pastagem de caatinga, divididas em três piquetes, sendo 8,0 ha na primeira área e 13,5 ha na segunda e na terceira área (Figura 2).

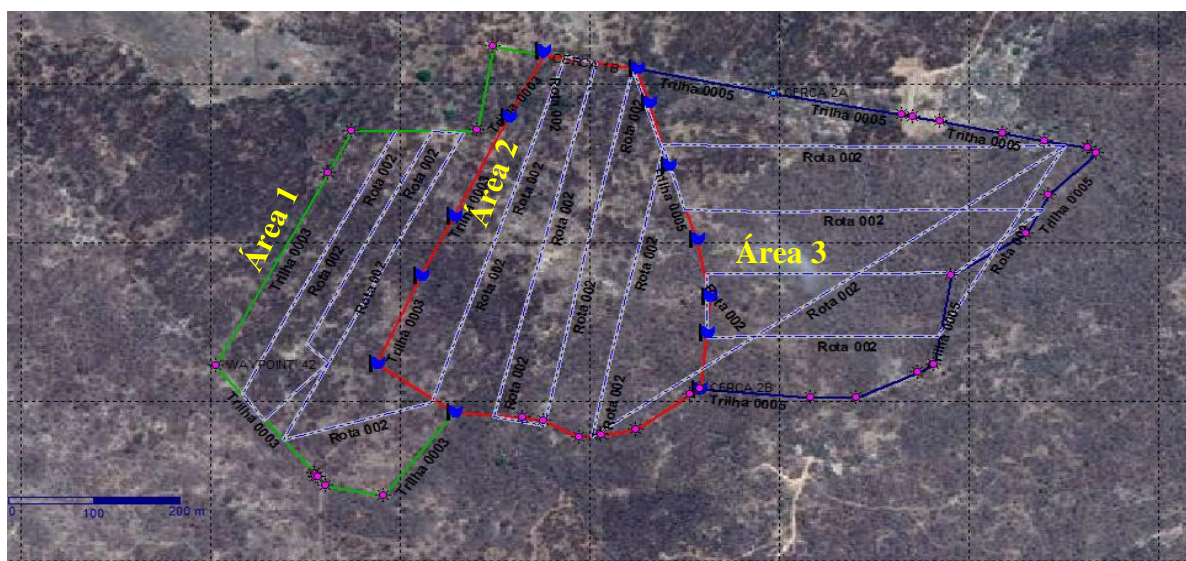


Figura 2 - Imagem de satélite da área experimental.  
Fonte: (Adaptada de GOOGLE EARTH, 2014).

A área experimental foi dividida em transectos, e em intervalos de vinte metros foram colocadas hastes indicando os pontos amostrais, totalizando 246 pontos distribuídos nas três áreas para avaliação da composição florística, parâmetros fitossociológicos, cobertura vegetal, disponibilidade da massa de forragem, definições de padrões visuais e avaliação da composição bromatológica dos diferentes estratos do pasto e períodos do ano.

As coletas foram realizadas nos seguintes períodos: chuvoso, transição chuva/seca (TCS), seco, transição seca/chuva (TSC), conforme critérios estabelecidos (Tabela 1).

Tabela 1 - Critérios utilizados na classificação dos meses, em período chuvoso, transições chuva-seca e seca-chuva e seco, na área de caatinga em Independência - CE.

Critérios			Chuvoso	TCS	Seco	TSC	
Precipitação acumulada (mm)			>300	1-99	Zero	100-299	
Umidade Relativa do ar (UR) %			>60	50-60	<50	50-60	
Teor de Proteína Bruta (%)			>19,00	12,00-15,00	<12,00	15,01 - 19,00	
Dados experimentais							
Ano	Mês	Precipitação (mm) <sup>1</sup>	Temperatura média (°C) <sup>2</sup>		UR <sup>2</sup> (%)	PB <sup>3</sup> (%)	Classificação
			Mínima	Máxima			
2014	1-4*	328					
2014	5	45	21,84	32,21	75,37	19,04	Chuvoso
2014	6	20	21,72	34,05	56,67	15,31	TCS <sup>4</sup>
2014	7	2,5	21,82	34,21	49,29	12,00	TCS <sup>4</sup>
2014	8	0	21,93	34,97	43,87	13,25	Seco <sup>4</sup>
2014	9	0	23,35	35,74	42,42	11,26	Seco
2014	10	0	23,98	35,99	42,90	10,65	Seco
2014	11	73	23,78	35,43	52,03	15,41	TSC
2014	12	0	23,29	34,57	53,31	17,16	TSC
2015	1	31	23,23	33,74	64,89	17,14	TSC
2015	2	55	22,34	31,85	78,51	16,98	Chuvoso <sup>4</sup>
2015	3	209,5	22,29	31,76	79,76	22,07	Chuvoso
2015	4	69,3	22,67	34,05	58,1	22,61	Chuvoso <sup>4</sup>

Transição chuva/seca - TCS; Transição seca/chuva - TSC; Umidade relativa do ar - UR; Proteína bruta - PB;  
<sup>1</sup>Dados da estação experimental da EFA; <sup>2</sup>Dados do INMET (2015); <sup>3</sup>Dados da composição química das extrusas de caprinos e ovinos do estudo; \*Meses anteriores ao início do experimento, cujas variáveis climáticas afetam o acúmulo de forragem no pasto; <sup>4</sup>Foram consideradas dentro do período determinado porque dois dos três critérios para essa classificação foram atendidos. Nos demais meses, todos os três critérios foram atendidos.



## Avaliações do pasto

No levantamento da composição florística para identificação do material botânico, todas as plantas pertencentes aos estratos herbáceo, arbustivo e arbóreo foram coletadas de acordo com a alteração da paisagem (seco/chuva/transições) e anotadas as principais características referentes à folha, colmo, flor e frutos, identificadas inicialmente por meio do nome popular. O material coletado foi herborizado, seguindo as técnicas usuais de preparação, secagem e montagem das exsicatas e posteriormente identificado por meio de literatura especializada, no Herbário CEN, onde são disponibilizadas as informações online, para consultas por usuários de todo lugar do mundo. Após incorporação do material original, as duplicatas foram enviadas para o Herbário da Universidade Estadual Vale do Acaraú (HUVA), em Sobral, Ceará. A partir dos dados obtidos durante o levantamento florístico foi elaborada uma tabela contendo as famílias, espécies, nome popular, sendo estas caracterizadas em estrato, ciclo de crescimento e uso.

Para avaliação da frequência das espécies herbáceas, cobertura do solo, cobertura vegetal, padrões visuais, biomassa disponível e composição bromatológica no dossel forrageiro, foram feitas amostragens, com auxílio de uma moldura de ferro com dimensões de 1,00 x 0,25 m (Araújo Filho et al., 1986). A frequência foi determinada pela presença das espécies nos quadrados amostrais, a fim de medir o grau de distribuição das espécies, utilizando-se para os cálculos o conceito de Rodal et al. (1992). No cálculo da densidade das espécies lenhosas, nos retângulos amostrais de 10,00 x 2,00 m (20 m<sup>2</sup>), seguiu o método proposto por Felfili et al. (2011), dividindo o número de espécies registradas pela área amostrada em hectare, com as seguintes fórmulas:

Densidade absoluta total (DA<sub>t</sub>) = N/A

Onde: N = número de indivíduos; A = área em hectares

Densidade relativa (DRe) = 100 x ne/N

Onde: ne = número de indivíduos amostrados da espécie; N = número de indivíduos amostrados da comunidade

A cobertura das copas foi feita pelo método de interceptação das linhas (Canfield, 1941) utilizando uma trena de 20 m, registrando o segmento da linha que fica sobre a projeção da copa de cada indivíduo. Somando-se os segmentos cobertos pela copa de todos os

indivíduos de dada espécie e dividindo essa soma pelo comprimento total das linhas, obtém-se a cobertura de cada espécie, transformando posteriormente em percentual.

A cobertura do solo e da vegetação herbácea foi estimada pelo método de observação visual dos pontos amostrais, utilizando-se valores de 0 a 100%. A altura das plantas foi mensurada por meio de uma régua graduada, e posteriormente agrupadas em padrões de altura para o estrato herbáceo e arbustivo arbóreo, com notas de 1 a 4 para o estrato herbáceo, com variações de 1 cm até 1 m, e de 1 a 3 para o arbustivo arbóreo, variando de 50 cm até mais de 5 m, em ordem crescente, conforme o aumento da altura das plantas em avaliação.

### **Determinação da massa de forragem e padrões visuais**

Na determinação da massa de forragem do estrato herbáceo foram utilizadas molduras retangulares de ferro de 0,25 m<sup>2</sup> (0,25 m x 1,00 m) (Araújo Filho et al., 1986), as quais foram arremessadas aleatoriamente, tendo como base o ponto do transecto. Na quantificação da massa de forragem (kg/ha), as plantas herbáceas que estavam dentro do retângulo foram cortadas rentes ao solo, pesadas e fracionadas em monocotiledôneas, dicotiledôneas e serapilheira.

Foi utilizado o método do rendimento comparativo (Haydock e Shaw, 1975) através da estimativa visual de padrões relacionados com a massa de forragem. Um sistema de seis padrões de referências (notas de 0 a 5) para o estrato herbáceo, com a menor e maior quantidade de forragem disponível no retângulo de 0,25 m<sup>2</sup>, respectivamente, por meio de avaliações visuais de altura e densidade do pasto. Os retângulos de amostragem foram comparados aos retângulos de referência e avaliados. Notas “zero” e “um” representaram as menores massas de forragem, e nota cinco, as maiores massas de forragem. O padrão 3 é o intermediário entre os padrões 1 e 5. Procedimento idêntico foi realizado em relação aos padrões 2 e 4, que representam massas respectivas entre os padrões 1 e 3 e 3 e 5. Para auxiliar na avaliação e assim determinar os padrões para os retângulos amostrais, foram efetuados registros fotográficos da forragem contida na moldura para comparar com os retângulos de referência (Figura 3). A avaliação visual através de notas também foi utilizada para determinação dos atributos relativos ao número de espécies em geral, número de espécies forrageiras, altura, cobertura vegetal, porcentagem de solo descoberto, massa de forragem e valor nutricional para constituir critérios utilizados na classificação do grau de degradação das áreas de pastagem nativa de caatinga.

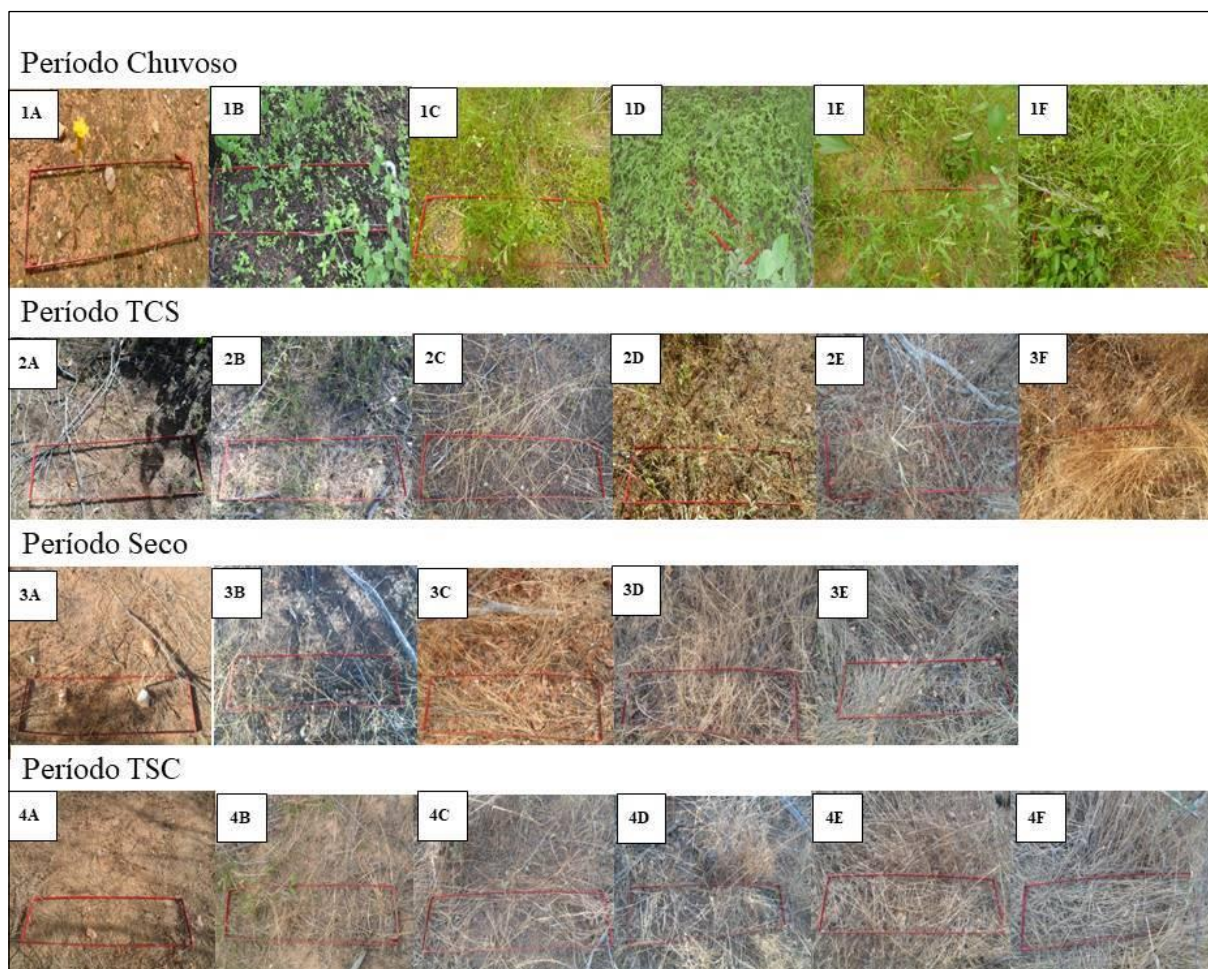


Figura 3 - Padrões de massa de forragem em área de caatinga no Sertão dos Inhamuns, Ceará.  
 1A a 1F - padrões de 0 a 5 no período chuvoso; 2A a 2F - padrões de 0 a 5 no período de TCS; 3A a 3F - padrões de 0 a 5 no período seco; 4A a 4F - padrões de 0 a 5 no período de TSC;

Nos estratos arbustivo e arbóreo, para determinação da massa de forragem foi utilizando um retângulo de  $20 \text{ m}^2$  ( $10 \times 2 \text{ m}$ ), com as amostras coletadas para simular o pastejo dos animais, considerando-se biomassa disponível ao animal aquela até 1,60 m de altura e brotos com diâmetro até 6 mm (Felfili et al., 2011). A quantificação da massa de forragem (kg/ha) foi estimada a partir da pesagem de cinco galhos de referência para cada espécie e posteriormente foram contados todos os galhos que estavam no limite do retângulo e obedecendo aos critérios citados anteriormente.

### Determinação da composição química do pasto

Para determinação da composição química das amostras de pasto, amostras dos diferentes estratos foram coletadas, identificadas e levadas ao laboratório de análise de alimentos - LANA da Embrapa Caprinos e Ovinos, onde foram pesadas, colocadas em estufa

de circulação forçada de ar  $\pm 55\text{ }^{\circ}\text{C}$  até obter peso constante, para determinação da matéria pré-seca. Em seguida, foram moídas em moinho de faca do tipo *Wiley* com peneira com poros de um milímetro de diâmetro e armazenadas em recipientes plásticos para posteriores análises.

Os teores de matéria seca (MS), matéria mineral (MM) e lignina em detergente ácido (LDA) foram determinados conforme a AOAC (1990). A matéria orgânica (MO) foi calculada como a diferença entre a MS e o teor da matéria mineral. A concentração de nitrogênio total (N) foi determinada em sistema de combustão (Leco FP-628, Leco Corp., St. Joseph, MI, EUA). Para conversão dos valores de N em PB foi utilizado o fator de correção 6,25. Na determinação de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foi utilizado o procedimento em autoclave, conforme metodologia descrita por Senger et al. (2008).

A digestibilidade da matéria seca (DMS) e da matéria orgânica (DMO) foi determinada por meio de ensaios de digestibilidade *in vitro* utilizando incubadora automática tipo MA443 (MA443, Marconi Equipamentos para Laboratórios Ltda., Piracicaba, SP, Brasil), conforme princípios da técnica de Tilley & Terry (1963). O líquido ruminal necessário para a avaliação foi coletado de animais pastejando em área de caatinga, tendo o pasto mais suplementação de sal mineral e água *ad libitum* como única fonte de alimentação. Após o período de incubação de 48 horas, os saquinhos contendo os resíduos da digestão foram lavados em água corrente e, em seguida, tratadas em solução de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), por 40 minutos a  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  em autoclave, conforme Senger et al. (2008) e por fim, incineração em mufla a  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 3 horas (AOAC, 1990).

### **Análise estatística**

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial  $4 \times 4$  (estratos x períodos). Para análise da cobertura da copa, densidade, frequência e altura, foram utilizadas estatísticas descritivas. Os dados de massa de forragem, cobertura do solo, cobertura vegetal e composição bromatológica do pasto foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o procedimento GLM do *Statistical Analysis System* versão 9.2 do SAS (2002) e as médias foram comparadas pelo teste de *Tukey* ( $P < 0,05$ ).

Os dados de massa de forragem e os padrões visuais foram submetidos à análise de variância e posteriormente a uma análise de regressão, sendo consideradas aquelas que

apresentaram menores valores de significância ( $P < 0,05$ ) e maiores coeficientes de determinação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Composição florística do pasto e aspectos fitossociológicos

A vegetação da área amostrada foi representada por 81 espécies, distribuídas em 32 famílias. Estas espécies encontram-se nos diferentes estratos, com predominância do componente herbáceo (77,78%), seguido do estrato arbóreo (16,05%), arbustivo (3,70%) e subarbustivo (2,47%) (Tabela 2).

Tabela 2 - Lista florística das famílias e espécies na área de caatinga no Sertão dos Inhamuns, Ceará.

Número Cenargen	Famílias Espécies	Nome Comum	Estrato	Uso
	AMARANTHACEAE			
167	<i>Froelichia humboldtiana</i>	Ervanço	H	I/T
123	<i>Alternanthera brasiliana</i> (L.) Kuntze	Quebra panela	H	I/Md
	ANACARDIACEAE			
	<i>Astronium urundeuva</i> Engl.	Aroeira	Arbo.	F/Ml/Md/Mad
	APOCYNACEAE			
	<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	Pereiro	Arbo.	F/Md/Mad
	ASTERACEAE			
147	<i>Stilpnopappus pratensis</i> Mart. ex DC.		H	Ml/O
180	Não identificado		H	-
172	<i>Bidens pilosa</i> L.	Carrapicho de agulha	H	Md
154	Não identificado		H	-
192	<i>Acmella</i> sp.	Margaridinha	H	F/Md/A
191	<i>Tridax procumbens</i> L.	Relógio ou estrelinha	H	I/Md
	CAPPARACEAE			
	<i>Capparis flexuosa</i> L.	Feijão bravo	Arbu.	F
	CLEOMACEAE			
156	<i>Cleome hassleriana</i>	Mussambê	H	O
	COMBRETACEAE			
169	<i>Combretum leprosum</i> Mart.	Mufumbo	Arbo.	Ml/F/Md
	COMMELINACEAE			
149	Não identificado		H	
131	<i>Commelina erecta</i>	Erva Santa Luzia	H	F
130	<i>Commelina nudiflora</i> Linn.	Marianinha	H	Ml/A

CONVOLVULACEAE				
173	<i>Evolvulus</i> L.		H	
183	<i>Ipomoea subincana</i>		H	I
127	<i>Jacquemontia evolvuloides</i> (Moric.). Meisn	Azulzinha	H	I
179	Não identificado	DH	H	
175	<i>Merremia aegyptia</i> (L.) Urb	Jetirana de mocó	H	F/O
159	<i>Ipomoea sericophylla</i>	Jitirana azul	H	F/O
176	<i>M. aegyptia</i> (L.)	Jitirana branca	H	F/MI
146	<i>Evolvulus harleyi</i>	Pescoço de peru	H	MI
CYPERACEA				
	<i>Cyperus uncinulatus</i> Mart. et Schrad.	Barba de bode	H	I
EUPHORBIACEAE				
143	<i>Croton</i> sp.	Malva grande	H	I
	<i>Croton sonderianus</i> Muelll. Arg.	Marmeleiro	Arbo.	I
132	<i>Croton heliotropiifolius</i>	Velame	Arbu.	Md
FABACEAE CAESALPINIOIDEAE				
158	<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul.	Catingueira	Arbo.	F/Md/Mad
	<i>Caesalpinia ferrea</i> Mart.	Jucá	Arbo.	F/Md/MI
136	<i>Mimosa pudica</i> L.	Anil	H	Md/T
164	<i>Senna uniflora</i> (Mill.) H.S.Irwin & Barneby	Mata pasto	H	I/F
	<i>Amburana cearensis</i> A. C. Smith.	Umburana de cheiro	Arbo.	F/Md
FABACEAE FABOIDEAE				
178	Não identificado		H	
188	Não identificado		H	
155	<i>Centrosema pascuorum</i> Mart. ex Benth.	Cunhã	H	F
157	<i>Stylosanthes humilis</i> Kunth	Erva de ovelha	H	F
FABACEAE MIMOSOIDEAE				
	<i>Anadenanthera colubrina</i>	Angico	Arbo.	F/Mad/Md/T/MI
	<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	Jurema Branca	Arbo.	F
	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	Jurema Preta	Arbo.	F
170	<i>Mimosa Caesalpinifolia</i>	Sabiá	Arbo.	F/Mad/MI
185	<i>Mimosa debilis</i> Humb. & Bonpl. ex Willd. var. <i>debilis</i>	Unha de gato	H	
IRIDACEAE				
184	Não identificado		H	
195	Não identificado		H	
LAMIACEAE				
137	<i>Hyptis suaveolens</i> Point.	Bamburral	Sub.	I/Md/MI
LEGUMINOSAE				
	<i>Rhincosia mínima</i> (L.) D.C.	Feijão de Rolinha	H	F
LOASACEAE				
138	<i>Mentzelia aspera</i> L.	Pega pega	H	I
LYTHRACEAE				
148	<i>Cuphea strigulosa</i> Kunth.		H	
MALVACEAE				
144	<i>Pavonia cancelata</i>	Malva rasteira	H	F
168	Não identificado		H	
177	Não identificado		H	
135	<i>Waltheria macropoda</i> Turcz	Malva	H	F/MI

150	<i>Sida sp.</i>	Malva	H	Md/I
129	<i>Sida galheirensis</i> Ulbr.	Malva branca	H	I
153	<i>Herissantia tiubae</i> (K. Schum.) Brizicky	Mela bode	Sub.	MI/I
171	Não identificado	Rapadura de cavalo	H	
NÃO IDENTIFICADAS				
139	Não identificado		H	
152	Não identificado		H	
166	Não identificado		H	
NYCTAGINACEAE				
128	<i>Boerhavia diffusa</i> (Jacq.)	Pega pinto	H	I/Md
OXALIDACEAE				
151	<i>Oxalis oxyptera</i>	Azedinha	H	I/Md/MI
PHYTOLACCACEAE				
125	<i>Momordica charantia</i> L.	Melão brabo	H	Md
PLANTAGINACEAE				
193	<i>Angelonia pubescens</i> Benth.	Orelha de mocó	H	MI
POACEAE				
174	Não identificado		H	
124	<i>Tragus berteronianus</i> Schult.	Capim Alpiste	H	I
142	<i>Aristida purpusii</i> Mez. Chase	Capim mimoso	H	I
186	<i>Setaria parviflora</i>	Capim rabo de raposa	H	F
181	<i>Cenchrus ciliaris</i>	Capim-buffel	H	F
182	Não identificado		H	-
141	<i>Brachiaria plantaginea</i>	Milhã	H	F
163	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) Willd	Pé de galinha	H	I/Md
POLYGALACEAE				
165	Não identificado		H	
PORTULACÁCEAS				
134	<i>Portulaca oleracea</i> Linn.	Beldroegua	H	Md/F/A
RHAMNACEAE				
133	<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	Juazeiro	Arbo.	F/MI/A
RUBIACEAE				
145	<i>Borreria verticillata</i> (L.) G. Mey.	Vassourinha de botão	H	I/MI
140	<i>Diodella teres</i> (Walter) Small	Engana bobo	H	I
SALICACEAE				
	<i>Laetia apetala</i> Jacq.	Pau Piranha	Arbo.	Md
TURNERACEAE				
160	<i>Piriqueta racemosa</i> (Jacq.) Sweet	Malva de botão	H	
126	<i>Turnera ulmifolia</i> Linn.	Chanana	H	Md/O
VERBENACEAE				
162	<i>Stachytarpheta sessilis</i> Moldenke	Escova de peru	H	MI
190	<i>Latana câmara</i> L.	Chumbinho	Arbu.	Md/T

Herbáceo - H; Arbóreo - Arbo; Arbustivo - Arbu; Subarbustivo - Sub; Uso: Forrageira - F; Medicinal - Md; Melífera - MI; Ornamentação - O; Alimentação - A; Invasora - I; Tóxica - T; Madeireira - Mad;

Dentro do estrato herbáceo, 80,95% são dicotiledôneas e 19,05% são monocotiledôneas. Este registro demonstra a riqueza de espécies que este bioma possui,

confirmando o que Tabarelli et al. (2000) ressaltaram, que apesar do bioma ser um dos menos estudados do Brasil, com aproximadamente 40% da área ainda não amostrada, são conhecidas atualmente 932 espécies de plantas, das quais 380 são endêmicas desse ambiente. Embora o componente Cactaceae seja considerado um estrato típico em áreas de caatinga, esta família não foi verificada neste estudo.

As Famílias que apresentaram um maior número de espécies, em ordem decrescente foram: Convolvulaceae (8), Malvaceae (8), Poaceae (8), Asteraceae (6), Fabaceae Mimosoideae (5) e Fabaceae Caesalpinioideae (5), sendo estas correspondentes a 49,38% das espécies. Por outro lado, 22,22% das famílias apresentaram apenas uma espécie. Pode se destacar a presença das famílias, Euphorbiaceae, Fabaceae, Malvaceae e Poaceae como famílias de grande representatividade (Pereira júnior et al., 2012; Marangon et al., 2013; Oliveira et al., 2013; Farias et al., 2016).

A partir do levantamento florístico pode-se observar que esta área possui uma grande diversidade de espécies vegetais, demonstrando que é possível ter uma integração entre produção pastoril e diversidade da vegetação, desde que priorize manejos que evitem a degradação do pasto. A composição florística da área pode ser utilizada como um importante indicador para representar a riqueza da diversidade das espécies presentes na área, no entanto, esta avaliação deve ser feita baseada na dinâmica da frequência das espécies ao longo do ano. Além disso, é necessária a caracterização do uso destas espécies, para verificar aquelas que possuem valor forrageiro e podem ser utilizadas na alimentação animal. Nesse caso, é importante associar o levantamento florístico com outros parâmetros, tais como: frequência das espécies, uso, ciclo de crescimento, densidade e altura.

Neste estudo, as espécies herbáceas com maiores frequências foram às dicotiledôneas, algumas destas, leguminosas: *Turnera ulmifolia* Linn., *Stilpnopappus pratensis* Mart. ex DC., *Cuphea strigulosa* Kunth, *Oxalis oxyptera*, *Centrosema pascuorum* Mart. ex Benth, rapadura de cavalo, *Acmella* sp., *Rhincosia mínima* (L.) D.C., dicotiledôneas não identificadas e *Stylosanthes humilis* Kunth. Estas apresentaram uma redução e até o desaparecimento no período seco, por serem espécies de ciclo anual e de baixa resistência às condições de redução das precipitações pluviais, e algumas como, *Stylosanthes humilis* Kunth, *Rhincosia mínima* (L.) D.C. e *Commelina nudiflora* Linn., por apresentar elevado valor forrageiro para os animais, tanto por caprinos quanto ovinos, tiveram suas frequências reduzidas, provavelmente pelo o maior pastejo dos animais nestas espécies.

Por outro lado, algumas espécies como: *Alternanthera brasiliana* (L.) Kuntze, *Momordica charantia* L., *Sida galheirensis* Ulbr., *Sida* sp, *Diodella teres* (Walter) Small e



*Aristida purpusii* Mez. Chase (Tabela 3) estiveram presentes em todo o período experimental, independente da precipitação pluvial, representadas principalmente por espécies de ciclo perene, com características invasoras e de baixo valor forrageiro, ocasionando baixo pastejo pelos animais.

Tabela 3 - Frequência das principais espécies herbáceas presentes na área ao longo dos períodos.

Nome comum	Frequência das Espécies				
	Chuvoso	TCS	Seco	TSC	Uso
<i>Alternanthera brasiliana</i> (L.) Kuntze	4,05	16,33	9,15	3,52	I/Md
<i>Momordica charantia</i> L.	6,75	14,83	5,80	2,49	Md
<i>Sida galheirensis</i> Ulbr.	6,81	10,33	7,03	5,57	I
<i>Diodella teres</i> (Walter) Small	6,39	8,33	6,21	6,43	I
<i>Aristida purpusii</i> Mez. Chase	14,02	16,50	13,97	16,98	I
<i>Sida</i> sp.	6,07	5,00	5,96	3,81	I

Transição chuva/seca - TCS; Transição seca/chuva - TSC. Invasora - I; Medicinal – Md.

O aparecimento de algumas espécies de ciclo anual no período considerado seco foi decorrente de uma precipitação no mês de novembro, o que ocasionou a rebrota de algumas plantas, principalmente de dicotiledôneas herbáceas. Esses “pulsos” de precipitações são importantes na dinâmica da sustentabilidade da produção vegetal no Bioma Caatinga, pois contribuem para a manutenção da diversidade das espécies, bem como aumento da disponibilidade de forragem e valor nutricional. Segundo Andrade et al. (2006) é preciso relacionar os pulsos de precipitação com a resposta do restabelecimento da vegetação, ou seja, da composição florística, e a partir deste entendimento, lançar estratégias de exploração das plantas nativas com potencial agrícola e forrageiro, minimizando a degradação do sistema.

O processo de degradação pode ser apontado como uma das causas do aparecimento de espécies invasoras, tais como, *Dactyloctenium aegyptium* (L.) Willd, *Croton* sp, *Aristida purpusii* Mez. Chase, *Croton sonderianus* Muelll. Arg., *Alternanthera tenella* Colla, pois a área se encontra em estágio de sucessão secundária, o que facilita o estabelecimento destas. A utilização excessiva de algumas espécies forrageiras, causadas pelo sobrepastejo de ruminantes, faz com que algumas espécies comecem a desaparecer, e a comunidade dá espaço, à invasão por novas espécies não pertencentes a sua composição florística original (Alves et al., 2009). Pereira Filho et al. (1997) estudaram o pastejo alternado de ovinos e caprinos e observaram que as frequências de espécies de menor valor forrageiro foram aumentadas, reduzindo aquelas de maior preferência dos animais. A composição florística da

pastagem exerce forte influência no consumo dos animais, os quais selecionam conforme a disponibilidade das espécies na área (Santos et al., 2008). Contudo, existem técnicas de manejo da caatinga que promovem o aumento da frequência e acessibilidade de espécies forrageiras em área pastoril, tal como: raleamento, rebaixamento e enriquecimento. Estes manejos associados ao conhecimento sobre o comportamento alimentar, baseado na seletividade, permite a estabilização da produção de gramíneas e dicotiledôneas e consequentemente um sistema de produção pecuária mais eficiente.

Observa-se que a frequência das espécies representa um importante indicador no manejo da pastagem, pois a partir deste acompanhamento é possível identificar aquelas espécies que perduram por todo o período e aquelas que desaparecem conforme aproximação do período seco e da extensão de dias de pastejo na área. Essa informação contribui para verificação da disponibilidade destas espécies, as quais estão diretamente relacionadas com as mudanças no consumo e desempenho dos animais em pastejo, reforçando a necessidade de associar o levantamento florístico da vegetação da caatinga com o acompanhamento da frequência das espécies, como indicador no manejo das pastagens.

Estudos com levantamentos florísticos contribuem para o conhecimento da riqueza e da heterogeneidade das espécies dos ambientes avaliados, como citado anteriormente, porém, é necessária uma caracterização destas espécies, quanto ao uso, com destaque para aquelas de valor forrageiro, as quais servirão de base alimentar para os animais em pastejo. O bioma Caatinga apesar da sua importância ainda é pouco estudado, fato que pode ser observado pela escassez de pesquisas sobre o uso das espécies da Caatinga.

Neste estudo, 33,33% das espécies são forrageiras, 25,92% invasoras, 4,93% são tóxicas, 38,27% possuem usos diversos e 25,92% são de uso desconhecidos. A Família Fabaceae possui o maior número de plantas forrageiras de alto valor proteico, enquanto a Poaceae está entre as fontes mais importantes de energia no pasto. Algumas espécies das Famílias Malvaceae e Euphorbiaceae podem também ser utilizadas como indicadoras de áreas degradadas. Souza et al. (2013), em seus estudos, observaram que apenas 10% das plantas da caatinga apresentam características forrageiras. Nessa lógica, observamos que esta área apresenta percentual de plantas forrageiras (33,33%) acima do que foi relatado pelos autores acima.

Além do conhecimento sobre o uso e a frequência das espécies, observou-se que a caracterização do ciclo de crescimento destas, pode ser associada com as respostas de frequências e representar a sua variação ao longo do ano. Observou-se que a maior parte das espécies é de ciclo anual, com variações de 32,01% a 48,15% ao longo dos períodos avaliados

(Figura 4), apresentando ciclo vegetativo curto, com maior representatividade no período chuvoso, sendo as dicotiledôneas herbáceas em maior proporção. Isso pode ser afirmado quando se observa a biomassa desse estrato, com maior massa de forragem no período chuvoso, decrescendo no período seco (Tabela 5). Já as plantas perenes variaram de 20,99% na transição chuva/seca a 29,63% no período chuvoso. As espécies decíduas variaram de 19,75% a 7,40%, enquanto as espécies arbóreas perenes representaram uma média de 2,5%, sendo estas representadas pelas espécies, *Ziziphus joazeiro* Mart. e *Caesalpinia ferrea* Mart.

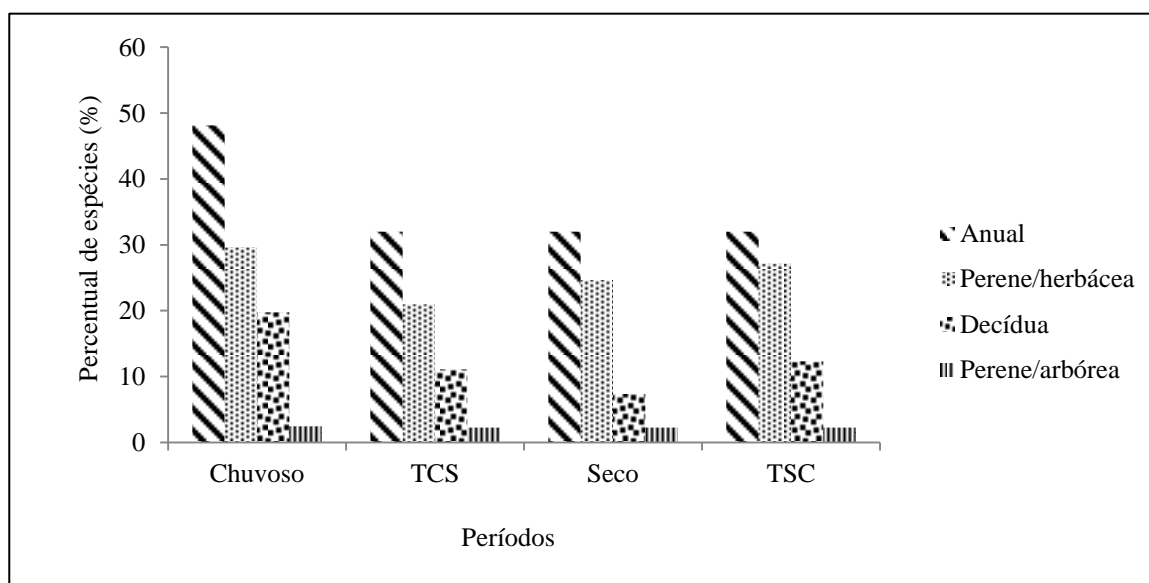


Figura 4 - Ciclo de crescimento das espécies, na área de caatinga no Sertão dos Inhamuns, Ceará. Transição chuva/seca - TCS; Transição seca/chuva - TSC;

De acordo com a Figura 4, observou-se que as plantas de ciclo anual e as decíduas foram as que tiveram uma maior redução no período seco, apresentando um declínio de 33,52% e 66,54%, respectivamente. Esse comportamento já é esperado, uma vez que espécies de ciclo anual apresentam crescimento curto e são sensíveis as baixas precipitações, enquanto as plantas decíduas perdem suas folhas, em um processo de adaptação fisiológica para reduzir as perdas de água. Já as espécies de ciclo perene apresentaram uma redução de apenas de 16,68% para o mesmo período. Essas avaliações dão subsídios para implantação de técnicas de manejo de pastagens para aumentar a persistência destas espécies na área. Araújo Filho (2013) ressalta que o uso do pastejo alternado, com divisão da área em duas parcelas, pastejadas em períodos diferentes, permitiria o uso de área para a produção anual de sementes, ou a adoção de uma taxa de lotação mais baixa para reduzir a intensidade de pastejo

no período de produção de sementes. O mesmo ainda enfatiza que estes manejos podem aumentar a persistência de forrageiras no pasto e favorecer a manutenção do banco de sementes.

Algumas espécies neste estudo, consideradas de valor forrageiro, possuem características de plantas decíduas, estando disponíveis para os animais apenas na época seca em forma de serapilheira, apresentando baixo valor nutricional. Uma possibilidade de incrementar a produção animal nestas situações seria aproveitar o excedente forrageiro produzido no período das chuvas e armazenar na forma de feno. Bakke et al. (2010) citam espécies como, sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*), jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) e favela (*Cnidoscolus phyllacanthus*), com características para a produção de feno e ressaltam a importância do uso dessa técnica para contribuir na porção volumosa dos animais na época seca.

Na avaliação da densidade das espécies lenhosas (plantas/hectares) foi encontrado um total de 6197 indivíduos na área total, tendo como principais representantes: *Croton sonderianus* Muelll. Arg. (marmeleiro) - 4383, seguido por *Combretum leprosum* Mart. (mufumbo) - 807, *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (jurema preta) - 404, *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (catingueira) - 238 e *Mimosa caesalpinifolia* (sabiá) - 199 (Tabela 4). Moreira et al. (2006) relataram que em outros 24 estudos em áreas de Caatinga, realizados no Nordeste, houve uma variação de 1.076 a 7.570 indivíduos por hectare.

Tabela 4 - Densidade e cobertura da copa de plantas arbóreas em área de caatinga no Sertão dos Inhamuns, Ceará.

Espécies	Densidade absoluta	Densidade relativa (%)	Cobertura (%)
<i>Croton sonderianus</i> Muelll. Arg.	4383	70,90	7,58
<i>Combretum leprosum</i> Mart.	808	12,90	13,35
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	404	6,83	49,22
<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul.	238	3,68	18,89
<i>Mimosa Caesalpinifolia</i>	199	3,08	25,67
<i>Croton heliotropiifolius</i>	82	1,36	3,93
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	37	0,56	16,25
<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	27	0,42	20,72
<i>Anadenanthera colubrina</i>	6	0,09	37,00
<i>Amburana cearensis</i> A. C. Smith.	5	0,07	17,00
<i>Caesalpinia ferrea</i> Mart.	3	0,06	
<i>Capparis flexuosa</i> L.	2	0,03	
<i>Astronium urundeuva</i> Engl.	2	0,03	30,00
Densidade total	6197		

Apesar de apresentar um número elevado de indivíduos, apenas estas cinco espécies citadas acima, representam 97,40% das espécies arbóreas e arbustivas na área avaliada (Tabela 4). Para as demais espécies amostradas, a densidade relativa média foi inferior a 5%. Segundo Barbosa (2012), esta característica é típica de áreas em processo de sucessão secundária, pois em ambientes considerados conservados há um maior número de espécies com densidade relativa inferior a 5% quando comparadas com áreas em estágio de sucessão secundária. O maior ou menor número de espécies nos levantamentos deve ser em resposta ao conjunto de fatores, tais como, umidade do solo, topografia, profundidade e pluviosidade.

Dentre as espécies, a *Croton sonderianus* Muelll. Arg. (marmeleiro) representou 70,90% da densidade relativa, evidenciando, portanto, o processo de sucessão secundária, típicas de áreas antropizadas, o que pode explicar a elevada densidade da mesma. A maior densidade do *Croton sonderianus* Muelll. Arg. na área está na capacidade de maior resistência, uma vez que se apresenta como planta pioneira, ocupando nichos mais inóspitos para as demais espécies, o que permitirá posteriormente a continuidade da sucessão do bioma (Santana e Souto, 2006).

Observa-se que a maior densidade de marmeleiro na área é um indicativo de área degradada e pode subsidiar a tomada de decisão em práticas de manejo. Nesse caso, o uso do raleamento, seria uma alternativa. O raleamento consiste no controle seletivo de espécies lenhosas, com redução do sombreamento e a redução de árvores e arbustos indesejáveis (Silva et al., 2007). Assim, há um aumento da produção da massa de forragem do estrato herbáceo, aumentando o desempenho dos animais em pastejo.

As maiores coberturas de copas foram apresentadas pela *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (jurema preta), *Anadenanthera colubrina* (angico), *Myracrodruon urundeuva* Engl. (aroeira) e *Mimosa caesalpinifolia* (sabiá), com percentuais de coberturas médias de 49,22%, 37,00%, 30,00% e 25,67%, respectivamente (Tabela 4). As maiores coberturas de copas destas espécies são relacionadas às características de projeção das copas, das plantas mencionadas acima, ocupando uma maior área.

Em relação à distribuição vertical dos indivíduos dentro da área experimental, foi observado para o estrato herbáceo que 47,72% se encontravam a uma altura de até 20 cm, 33,21% entre 21 a 50 cm, enquanto plantas com 50 a 80 cm, e até 1 m tiveram menor representatividade. (Figura 5). No estrato arbustivo/arbóreo, as plantas entre 2,1 e 5 m foram as mais representativas, seguidas de até 2 m e de mais de 5 m (Figura 5).

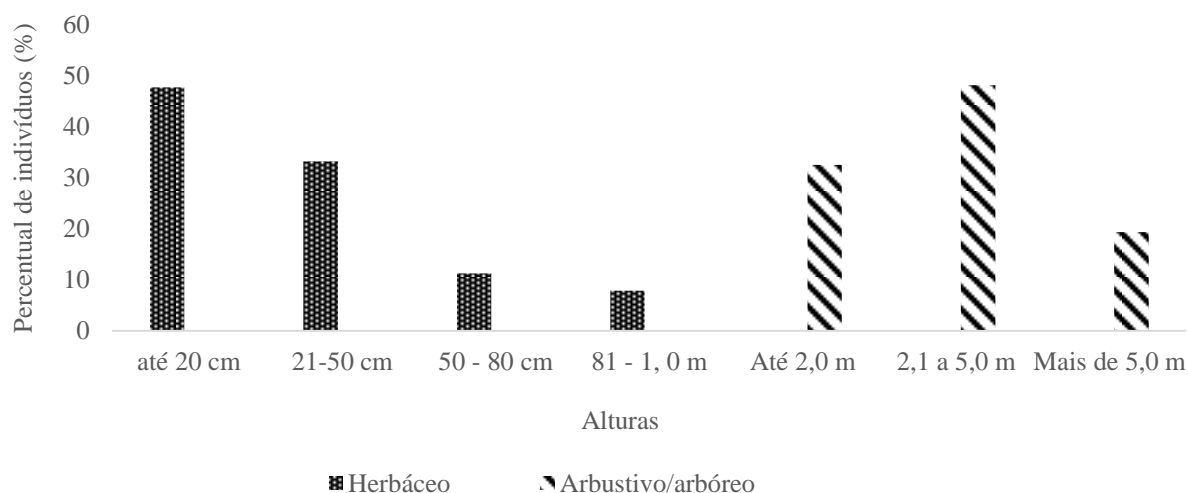


Figura 5 - Altura de plantas herbáceas e arbóreas em área de caatinga no Sertão dos Inhamuns, Ceará.

Pereira Júnior et al. (2012) em avaliação das classes de alturas em áreas de caatinga na Paraíba observaram que houve uma maior concentração nas classes de 4,1 a 6 m. Lemos e Meguro (2015) em estudo fitossociológico em área de caatinga no Ceará, observaram que a maioria dos indivíduos se concentram em estratos inferiores a 5 m de altura, com algumas espécies emergentes, que chegam a mais de 10 m. Alves et al. (2013) evidenciaram que 83,28% dos indivíduos apresentaram altura inferior a 4 m, enfatizando que os menores portes encontrados no estrato arbóreo e arbustivo é limitado pelas condições menos favoráveis e pela antropização, muitas dessas não chegam a ultrapassar os 10 m e os arbustos são mais abundantes.

A caracterização deste parâmetro torna-se necessário para saber se o estrato está disponível para o animal, pois conforme Gariglio et al. (2010) considera-se o material forrageiro disponível até 1,6 m de altura, porém para caprinos, esta determinação pode ser maior em função do seu comportamento bípede e ramoneador. Oliveira et al. (2015) avaliaram o estrato herbáceo e observaram alturas de  $18,2 \pm 23,2$  cm a  $50,7 \pm 71,2$  cm, ressaltando que as alturas das plantas que compõe uma pastagem são de fundamental importância na alimentação dos animais, pois representa a acessibilidade para estes.

Pode-se observar que as plantas do estrato herbáceo estão acessíveis aos animais, enquanto o estrato arbustivo/arbóreo apresenta principalmente, alturas superiores daquelas que o animal consegue alcançar. A maior parte das espécies arbóreas está acessível aos animais no período seco em forma de serapilheira. Neste estudo, poderia ser indicado o uso do rebaixamento da espécie jurema preta, a qual possui características forrageiras de alto valor

nutricional e assim aumentaria o acesso dos animais à forragem, além de estender a produção de forragem verde por mais tempo na época seca.

Os estudos fitossociológicos fornecem informações a respeito da estrutura das comunidades, bem como o conhecimento da flora regional e/ou local. Podem ser utilizados como indicadores e subsidiar desta forma, o manejo, a recuperação e/ou conservação da área, desde que sejam avaliados conjuntamente.

### Biomassa e cobertura da forragem

A biomassa total foi maior no período chuvoso (5784,7 kg de MS/ha) ( $P<0,05$ ) em relação aos demais períodos (Tabela 5), correspondendo, principalmente a maior presença de dicotiledôneas herbáceas anuais, gramíneas e espécies arbóreo-arbustivas.

Tabela 5 - Produção, disponibilidade de forragem e cobertura vegetal nos diferentes períodos em área de caatinga no Sertão dos Inhamuns, Ceará.

Parâmetro	Chuvoso	TCS	Seco	TSC
*Biomassa total (kg MS/ha)	5784,70 <sup>a</sup>	1231,50 <sup>b</sup>	1253,90 <sup>b</sup>	1682,30 <sup>b</sup>
Disponibilidade de forragem <sup>1</sup> (kg MS/ha)	2313,88	492,60	501,56	672,92
Capacidade de suporte <sup>2</sup> (cabeças/ha)	16	7	6	5
**Biomassa de forragem por estrato (kg MS/ha)				
Monocotiledônea	1238,73 <sup>bA</sup>	589,05 <sup>aB</sup>	912,91 <sup>abAB</sup>	1006,97 <sup>abAB</sup>
Dicotiledônea	4154,25 <sup>aA</sup>	493,57 <sup>aB</sup>	438,64 <sup>bB</sup>	460,85 <sup>bB</sup>
Serapilheira	1291,00 <sup>bA</sup>	945,61 <sup>aA</sup>	1237,32 <sup>aA</sup>	1102,43 <sup>aA</sup>
Arbustivo/arbóreo	575,66 <sup>cA</sup>	106,71	3,97	188,73
*Cobertura				
Solo descoberto (%)	65,22 <sup>b</sup>	53,92 <sup>ab</sup>	50,33 <sup>ab</sup>	40,43 <sup>a</sup>
Cobertura vegetal (%)	33,81 <sup>a</sup>	27,99 <sup>a</sup>	25,09 <sup>a</sup>	20,73 <sup>a</sup>
**Cobertura por estrato (%)				
Monocotiledônea	7,37 <sup>aB</sup>	16,27 <sup>aAB</sup>	15,83 <sup>aAB</sup>	23,82 <sup>aA</sup>
Dicotiledônea	17,71 <sup>aA</sup>	11,71 <sup>aA</sup>	4,89 <sup>bA</sup>	9,99 <sup>bA</sup>
Serapilheira	9,69 <sup>aB</sup>	17,34 <sup>aAB</sup>	24,23 <sup>aA</sup>	23,71 <sup>aA</sup>
Rocha		1,50	4,71 <sup>b</sup>	8,20

Transição chuva/seca - TCS; Transição seca/chuva - TSC. Matéria seca - MS; <sup>1</sup>Disponibilidade de forragem considerada 40% de utilização; <sup>2</sup> Considerado unidade animal ovina - 240 kg, com animais com peso médio de 40 kg e consumo de 3% do peso vivo, por um período de 120 dias no período chuvoso; 60 dias na TCS; 90 dias no período seco; e 90 na TSC; \*Dados sem interação - Médias seguidas de letras minúsculas distintas, indicam diferença pelo teste de *Tukey* ( $P<0,05$ ). \*\*Dados com interação - Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na linha (períodos), e minúsculas na coluna (estratos), indicam diferença pelo teste de *Tukey* ( $P<0,05$ ).

À medida que as chuvas foram cessando, a biomassa total diminuiu, não ocorrendo diferenças ( $P>0,05$ ) para os demais períodos avaliados. A maior produção de biomassa no período chuvoso é decorrente da maior frequência de plantas de ciclo anual, bem como

espécies decíduas, as quais respondem aos primeiros pulsos de água, recuperando as suas reservas e iniciando o processo de crescimento vegetal. Quando ocorrem as primeiras chuvas, as quais possuem a capacidade de provocar mudanças fisiológicas e morfológicas das plantas, há um estímulo ao crescimento da planta e assim recuperação das reservas nutritivas (Andrade et al., 2006), e com isso o aumento da produção vegetal.

Para que a pastagem nativa seja mantida em conservação, sua utilização não deve ultrapassar 60% da biomassa de forragem produzida (Araújo Filho, 2013). Considerando um nível de utilização de 40% do que foi produzido, a disponibilidade de forragem variou de 492,60 a 2313,88 kg de MS/ha (Tabela 5).

Após a determinação da disponibilidade de forragem, propôs diferentes taxas de lotação baseado na capacidade de suporte da área, e verificou-se que a disponibilidade de forragem no período chuvoso proporciona a utilização de até 16 cabeças/ha por um período de 120 dias. Associando a massa de forragem disponível aos animais juntamente com as características das plantas de uso forrageiro e a frequência das espécies nesse período, pode-se dizer que no período chuvoso esta área estaria apta para criação de animais em pastejo. Como visto anteriormente, neste período há uma grande frequência de plantas do estrato herbáceo, com características forrageiras e disponíveis para os animais. No entanto, as plantas dos estratos arbustivo e arbóreo, como citado anteriormente estão em geral, a uma altura de 2,1 a 5,0 m, portanto indisponível. O uso do rebaixamento de plantas com características forrageiras, nesta situação, aumentaria a massa de forragem disponível aos animais. Somada a isso, o controle do marmeleiro e mufumbo poderia aumentar a massa de forragem proveniente do estrato herbáceo.

Conforme a redução da pluviosidade e aproximação do período seco, a disponibilidade de forragem, bem como a capacidade de suporte reduz em menos da metade, podendo ser utilizada na produção animal, porém com seu uso restrito (Tabela 5). Nestes períodos, pode ser indicado um manejo de controle da capacidade de suporte da área, conforme a redução da massa de forragem, bem como o uso de uma suplementação concentrada e/ou volumosa para complementar as exigências alimentares dos animais nestes períodos.

Ao avaliar a biomassa de forragem nos diferentes estratos, houve interação ( $P < 0,05$ ) entre períodos e estratos (Tabela 5). Pode-se observar que no período chuvoso, o estrato mais representativo foi das dicotiledôneas, com produção de 4154,25 kg/ha, reduzindo nos demais períodos avaliados. Já na transição chuva/seca, a biomassa de forragem entre os estratos não foram diferentes ( $P > 0,05$ ). Quando se avaliou os estratos no período seco e TSC, houve dominância da serapilheira e monocotiledôneas e menor produção de dicotiledôneas



herbáceas e arbustivo/arbórea (Tabela 5). Moreira et al. (2006) em avaliação da caatinga em Pernambuco também encontraram maior disponibilidade do componente herbáceo (1.369 kg/ha de MS) no período chuvoso, reduzido para um terço (452,1 kg/ha de MS) no período seco. Em trabalho realizado por Santana et al. (2011), os valores de disponibilidade de forragem tiveram variações de 1320 a 329 kg/ha entre o início das chuvas e final da estiagem em Tauá. Essa redução do estrato herbáceo é decorrente da menor e/ou inexistência de precipitação pluvial, à medida que o período seco avança associado às características relacionadas ao ciclo de crescimento das espécies, as quais nesta área de estudo, as espécies de ciclo anual representaram uma variação de 32,01 a 48,15%, ao longo do ano.

O mesmo pode ser verificado para o componente arbustivo/arbóreo, o qual possui maior produção na época chuvosa, decrescendo nos demais períodos. No entanto, o seu aproveitamento é adquirido através da fração serapilheira, que apesar de ter sido mantida estável ao longo dos períodos, teve maior representatividade no período seco, quando comparado aos estratos das dicotiledôneas herbáceas e arbustivo/arbóreo, no mesmo período avaliado. Andrade et al. (2008) ressaltaram que a produção de serapilheira é dependente de espécies caducifólias presentes na área, as quais perdem as folhas no início da estação seca, o que aumenta o componente de serapilheira neste mesmo período, sendo de grande importância como fonte de alimentação. Isso reforça a importância da manutenção de árvores e arbustos no sistema de produção pastoril na Caatinga, como forma de manutenção da umidade do solo, fonte de nutrientes e alimentação dos animais, o que torna o Bioma Caatinga resiliente.

Ao avaliar os estratos nos diferentes períodos, observa-se que as monocotiledôneas apresentaram menor produção na transição chuva-seca, não diferindo nos demais períodos ( $P>0,05$ ), enquanto as dicotiledôneas obtiveram maior produção na chuva, com redução nos demais períodos. A fração serapilheira manteve-se estável em todos os períodos ( $P>0,05$ ), enquanto o componente arbustivo/arbóreo apresentou apenas interação ( $P<0,05$ ) no período chuvoso, com produção de forragem de 575,66 kg/ha. Esta dinâmica também foi observada por Oliveira (2012), onde a produção de dicotiledôneas no período chuvoso foi de 366 kg de MS, sendo esta a mais representativa, já a Família da Poaceae apresentou 181 kg de MS, sendo a mais baixa, mas manteve-se durante o período seco, em razão principalmente, da presença das espécies perenes e resistentes à seca. Esse fato também ocorreu no presente estudo, onde grande parte das espécies de ciclo perene foi às monocotiledôneas, por isso conseguiu manter a sua produção de forragem mais estável ao longo do ano. Carvalho Júnior et al. (2009) também observaram uma redução da fração de dicotiledôneas na época chuvosa

(1759,5 kg de MS) para época seca (236,8 kg de MS), e manutenção das monocotiledôneas de 1102,9 para 1494,8 kg de MS, no mesmo período.

Conforme mencionado anteriormente, deve-se preconizar um bom manejo da Caatinga, considerando aquelas espécies de valor forrageiro, além da perenidade e produtividade. Assim, foi proposto, dados da capacidade de suporte, com base na disponibilidade de forragem ao longo do ano e em períodos definidos (Tabela 5). Verificou-se que na época chuvosa é possível aumentar o número de animais na área de 16 cabeças/ha, reduzindo para 7, 5 e 6 cabeças/ha, nos períodos, TCS, seco e TSC, respectivamente. Essa indicação com base na disponibilidade de forragem é uma estratégia de manejo que pode ser realizada, como forma de evitar a degradação e o superpastejo dos animais na área. Segundo Araújo Filho (2013) é importante ajustar a lotação animal, quer seja pela disponibilidade de forragem baseada em 60% de utilização, ou pela composição florística da vegetação da pastagem, podendo utilizar técnica de pastejo alternado, conforme a frequência das espécies em determinadas épocas do ano. Neste estudo adotou-se o nível de utilização de 40%, já que a área apresenta características de estágio de sucessão secundária e de uso restrito.

Outras estratégias podem ser indicadas baseadas na frequência e densidade das espécies presentes na área. Considerando, a densidade das espécies, pode-se indicar o rebaixamento da jurema preta e sabiá, as quais apresentaram as principais densidades de espécies consideradas de valor forrageiro na área, como forma de aumentar a produção de forragem e deixar esse estrato acessível aos animais, principalmente ao pastejo de caprinos. Araújo Filho (1992) observaram um aumento de 400 kg de fitomassa em pastagem nativa de caatinga sem manipulação para 1600 kg quando se utilizou o rebaixamento. A produção e a capacidade de suporte no sistema de rebaixamento ocorrem de 20 kg/ha/ano e 5,0 ha/cabeça/ano para bovinos, 25,1 kg/ha/ano e 1,0 ha/cabeça/ano para ovinos e 42,6 kg/ha/ano e 0,7 ha/cabeça/ano para caprinos (Araújo Filho et al., 2002).

O conhecimento da produção de cada estrato aliado à frequência de determinadas espécies, torna-se ferramenta estratégica para determinar taxas de lotação, além de determinar qual fração é mais importante em determinada época, e assim fazer correções de manejo para melhorar a produção de forragem. Levando em consideração essa afirmação, verificou-se que as dicotiledôneas foi o principal estrato na época das chuvas, enquanto as monocotiledôneas e a serapilheira foram os principais no período seco em relação aos demais estratos.

Pode-se ainda fazer uma relação entre as características de cobertura do solo e da vegetação com os dados de biomassa de forragem (Tabela 5). O percentual de solo descoberto foi menor nos períodos de transições e seco e maiores nas chuvas ( $P < 0,05$ ) (Tabela 5). Nota-

se que apesar de uma maior biomassa de forragem no período chuvoso, quando se avaliou a proporção de solo descoberto esse foi maior em relação a outros períodos. Esse comportamento pode ter ocorrido em razão da heterogeneidade da área, o restabelecimento das plantas, em relação ao período seco antecedente e a subjetividade do método, que pode conduzir a erros experimentais. Já nos períodos de transições e seco, o menor percentual de solo descoberto é proporcionado pela maior presença de serapilheira na área, a qual apresentou maior cobertura no período seco e TSC (Tabela 5).

Quando se observa a cobertura vegetal, apesar de não ter apresentado diferenças entre os períodos ( $P>0,05$ ), em termos numéricos, a maior cobertura da vegetação foi no período chuvoso (33,81%), o que pode estar relacionada com a maior produção de forragem de dicotiledôneas no mesmo período (Tabela 5).

Além de conhecer os aspectos relacionados à cobertura vegetal e percentual de solo descoberto é importante qualificá-los nos diferentes estratos. Observa-se que nos períodos de TCS, seco e TSC, onde ocorreu menor percentual de solo descoberto, grande parte da cobertura do solo era de serapilheira (Tabela 5), a qual, em geral, apresenta baixo valor nutricional, ou seja, quando se observa apenas a cobertura do solo, é uma informação pouco conclusiva ao tratar de qualidade da forragem disponível, pois apesar de na TSC apresentar menor percentual de solo descoberto (40,43%), esta é formada basicamente de serapilheira e monocotiledôneas, representando 47,53% desta cobertura. Ademais, ao observar a frequência de gramíneas na área, a espécie mais representativa é *Aristida purpusii* Mez. Chase (capim mimoso) considerada uma planta invasora. Já no período das chuvas, apesar de maior percentual de solo descoberto (65,28%), é representada por 17,71% de dicotiledôneas, com espécies de ciclo curto, de alto valor forrageiro.

Quando se avaliou a interação da cobertura dos estratos e períodos, houve diferenças ( $P<0,05$ ) (Tabela 5), onde no período seco e TSC, os estratos com maiores representações foram a serapilheira e monocotiledôneas. Observa-se que o mesmo ocorreu para a biomassa da forragem nos estratos (Tabela 5), podendo associar dados de produção de forragem com a cobertura dos estratos, na avaliação de pastagem nativa de Caatinga.

Nos demais períodos, as coberturas entre os estratos não foram diferentes ( $P>0,05$ ), apesar das dicotiledôneas terem apresentado numericamente uma maior cobertura no período chuvoso em relação aos demais, o que pode ser correlacionado com a maior massa de forragem desse mesmo estrato neste período.

Ao avaliar as diferenças dentro de cada estrato, nos diferentes períodos, houve interação ( $P<0,05$ ), exceto, para o componente rochas. A serapilheira e as monocotiledôneas

obtiveram menor cobertura no período chuvoso ( $P < 0,05$ ), no entanto não diferiram entre a TCS e período seco. Esta menor cobertura da serapilheira ocorreu em razão da maior produção de biomassa vegetal em relação à produção de serapilheira, enquanto a menor cobertura das monocotiledôneas no período chuvoso pode ser em função do estabelecimento mais rápido das dicotiledôneas, quando comparadas com as monocotiledôneas. A cobertura das dicotiledôneas entre os períodos não foram diferentes ( $P > 0,05$ ), apesar de se observar um decréscimo desta à medida que o período seco avança, tendo uma recuperação na TSC, com comportamento semelhante quando se observa a massa de forragem.

Em ecossistemas de pastagens, a porcentagem de solo descoberto pode indicar os efeitos de superpastejo, e, conseqüentemente, de degradação do pasto, além de constituir um referencial para o potencial de erosão do solo e interceptação das chuvas. Albuquerque et al. (2008) em estudos em área de caatinga no Pernambuco, com precipitações médias de 556 mm, pastejadas por caprinos e bovinos com um período de pousio antes da pesquisa, testaram diferentes intensidades de pastejo e observaram que a cobertura não foi influenciada pela intensidade de pastejo e sim pela precipitação.

Verifica-se que tanto a cobertura vegetal quanto o percentual de solo descoberto podem ser utilizados como parâmetros de avaliação da pastagem, no entanto, deve-se usar com cautela e associar com demais variáveis, pois é uma medida subjetiva e bastante variável, conforme a heterogeneidade da área. A biomassa de forragem pode ser um parâmetro que pode ser utilizado em associação com a avaliação da cobertura vegetal, qualificando-os no diferentes estratos, para que assim possa mostrar a contribuição dos estratos em determinadas épocas do ano e assim auxiliar nas estratégias de manejo.

Ao avaliar a relação da massa de forragem com os padrões visuais pela análise de regressão observou que o melhor modelo foi o de função quadrática com  $R^2 = 0,5609$ , mostrando uma correlação média entre as estimativas feitas pelo método do corte da forragem com as determinadas pelos padrões visuais (Figura 6). O método de estimativa visual associado com o de corte da forragem tem a vantagem de demandar menor tempo e trabalho, com a exatidão do método de corte (Carneiro et al., 2000).

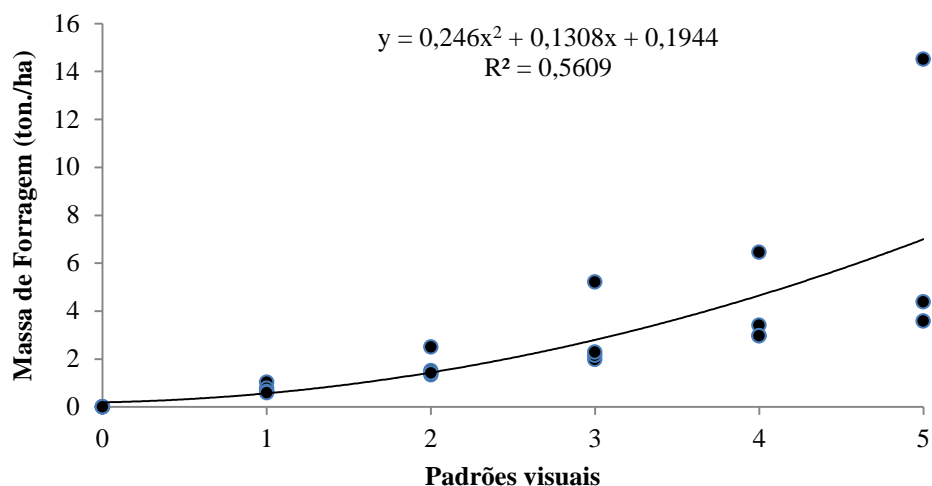


Figura 6 - Relação entre massa de forragem e padrões visuais em área de caatinga no Sertão dos Inhamuns, Ceará.

Observa-se que no padrão 5, o qual está relacionado com a maior massa de forragem, há um ponto bem distante da linha de tendência, isso porque este dado corresponde a massa de forragem para este padrão no período chuvoso, decrescendo drasticamente a massa de forragem nos períodos de transições e período seco (Figura 6).

A padronização desta metodologia mostrou-se eficiente, quando relacionada com a heterogeneidade da área, indicando o uso deste método como ferramenta para estimar de maneira mais fácil e prática a massa de forragem, com resultados mais rápidos para tomadas de decisões quanto ao manejo da pastagem. Aliada a este viés, o uso dos padrões visuais ainda podem ser relacionados com a cobertura vegetal e do solo e altura da vegetação, constituindo uma importante ferramenta de manejo em área de pastagem de caatinga.

### Composição nutricional do pasto

Ao avaliar a composição nutricional do pasto nos diferentes estratos e períodos observou-se interação ( $P < 0,05$ ) entre períodos e estratos (Tabela 6). Os teores de MS aumentaram entre os estratos ( $P < 0,05$ ) à medida que o período seco foi se aproximando. No período chuvoso, o teor de MS da serapilheira foi maior quando comparado com os demais estratos, no entanto, esta diferença desapareceu ( $P > 0,05$ ) nos demais períodos, em comparação com as monocotiledôneas.

Tabela 6 - Composição bromatológica dos estratos nos diferentes períodos em área de caatinga no Sertão dos Inhamuns, Ceará.

Estrato	Parâmetro	Chuvoso	TCS	Seco	TSC
Monocotiledônea	MS	61,06 <sup>bB</sup>	85,71 <sup>abA</sup>	89,65 <sup>aA</sup>	89,85 <sup>aA</sup>
Dicotiledônea		45,58 <sup>cC</sup>	78,29 <sup>bB</sup>	88,99 <sup>aA</sup>	85,09 <sup>aAB</sup>
Serrapilheira		81,50 <sup>aB</sup>	88,43 <sup>aAB</sup>	90,42 <sup>aA</sup>	87,89 <sup>aAB</sup>
Arbustivo/arbóreo		37,48 <sup>dC</sup>	53,07 <sup>cB</sup>	73,44 <sup>bA</sup>	48,30 <sup>bB</sup>
Monocotiledônea	MO	88,90 <sup>aB</sup>	93,79 <sup>aA</sup>	94,21 <sup>aA</sup>	95,17 <sup>aA</sup>
Dicotiledônea		92,17 <sup>aB</sup>	94,05 <sup>aA</sup>	95,36 <sup>aA</sup>	96,36 <sup>aA</sup>
Serrapilheira		87,44 <sup>bA</sup>	90,68 <sup>aA</sup>	90,50 <sup>bA</sup>	89,28 <sup>bA</sup>
Arbustivo/arbóreo		93,35 <sup>abA</sup>	92,65 <sup>aA</sup>	92,87 <sup>abA</sup>	93,88 <sup>aA</sup>
Monocotiledônea	PB	7,50 <sup>cA</sup>	9,14 <sup>bA</sup>	7,24 <sup>bA</sup>	6,61 <sup>cA</sup>
Dicotiledônea		11,88 <sup>bA</sup>	9,41 <sup>bAB</sup>	7,16 <sup>bB</sup>	8,01 <sup>bcB</sup>
Serrapilheira		10,61 <sup>bA</sup>	9,77 <sup>bA</sup>	9,72 <sup>abA</sup>	10,91 <sup>bA</sup>
Arbustivo/arbóreo		19,68 <sup>aA</sup>	13,83 <sup>aB</sup>	11,59 <sup>aB</sup>	21,06 <sup>aA</sup>
Monocotiledônea	FDN	74,83 <sup>aA</sup>	78,09 <sup>aA</sup>	77,82 <sup>aA</sup>	78,78 <sup>aA</sup>
Dicotiledônea		63,77 <sup>bB</sup>	75,34 <sup>aA</sup>	74,77 <sup>aA</sup>	75,72 <sup>aA</sup>
Serrapilheira		61,07 <sup>bA</sup>	54,44 <sup>bA</sup>	56,29 <sup>bA</sup>	57,65 <sup>bA</sup>
Arbustivo/arbóreo		58,31 <sup>bA</sup>	53,52 <sup>bA</sup>	52,28 <sup>bA</sup>	51,29 <sup>bA</sup>
Monocotiledônea	FDA	53,43 <sup>aA</sup>	51,97 <sup>aA</sup>	52,01 <sup>aA</sup>	55,35 <sup>aA</sup>
Dicotiledônea		48,61 <sup>bB</sup>	53,74 <sup>aAB</sup>	55,84 <sup>aA</sup>	56,27 <sup>aA</sup>
Serrapilheira		56,90 <sup>aA</sup>	49,39 <sup>aB</sup>	50,70 <sup>aAB</sup>	52,25 <sup>aAB</sup>
Arbustivo/arbóreo		36,32 <sup>bAB</sup>	41,23 <sup>bA</sup>	42,46 <sup>bA</sup>	33,78 <sup>bB</sup>
Monocotiledônea	LIG	8,32 <sup>bA</sup>	10,40 <sup>bA</sup>	8,78 <sup>bA</sup>	8,62 <sup>cA</sup>
Dicotiledônea		10,24 <sup>cA</sup>	11,47 <sup>bA</sup>	11,89 <sup>bA</sup>	10,36 <sup>cA</sup>
Serrapilheira		25,16 <sup>aA</sup>	23,16 <sup>aA</sup>	21,54 <sup>aA</sup>	24,78 <sup>aA</sup>
Arbustivo/arbóreo		18,40 <sup>bAB</sup>	22,60 <sup>aA</sup>	20,24 <sup>aA</sup>	15,18 <sup>bB</sup>
Monocotiledônea	DIVMS	41,40 <sup>abA</sup>	38,60 <sup>bA</sup>	42,25 <sup>bcA</sup>	45,82 <sup>aA</sup>
Dicotiledônea		47,52 <sup>aA</sup>	34,72 <sup>bB</sup>	37,61 <sup>cB</sup>	41,11 <sup>aAB</sup>
Serrapilheira		38,22 <sup>bA</sup>	46,33 <sup>aA</sup>	45,84 <sup>abA</sup>	43,10 <sup>aA</sup>
Arbustivo/arbóreo		44,51 <sup>abA</sup>	49,77 <sup>aA</sup>	50,88 <sup>aA</sup>	46,56 <sup>aA</sup>
Monocotiledônea	DIVMO	51,20 <sup>bA</sup>	49,02 <sup>bA</sup>	51,52 <sup>bcA</sup>	55,92 <sup>aA</sup>
Dicotiledônea		60,35 <sup>aA</sup>	45,48 <sup>bB</sup>	47,30 <sup>cB</sup>	51,40 <sup>aB</sup>
Serrapilheira		47,95 <sup>bB</sup>	57,97 <sup>aA</sup>	56,49 <sup>abA</sup>	52,58 <sup>aAB</sup>
Arbustivo/arbóreo		54,24 <sup>abB</sup>	60,67 <sup>aAB</sup>	62,85 <sup>aA</sup>	57,33 <sup>aAB</sup>

Transição chuva/seca - TCS; Transição seca/chuva - TSC. Matéria seca - MS; Proteína bruta - PB; Fibra em detergente neutro - FDN; Fibra em detergente ácido - FDA; Lignina - LIG; Digestibilidade *in vitro* da matéria seca - DIVMS; Digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica - DIVMO; Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na linha (períodos), e minúsculas na coluna (estratos), indicam diferença pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ).

As dicotiledôneas a partir do período seco aumentaram os teores de MS, enquanto o estrato arbustivo/arbóreo apresentou menor teor de MS em relação aos outros estratos em todos os períodos avaliados. Essas diferenças podem estar relacionadas com as próprias características dos estratos avaliados, uma vez que o estrato herbáceo é mais sensível às reduções nas quantidades de água, quando comparado com estrato arbustivo e arbóreo, aumentando o material fibroso com consequência nas concentrações de MS. Oliveira (2015) observou esse aumento de MS do pasto, à medida que ocorreu redução na precipitação pluvial.

Quando comparado cada estrato nos diferentes períodos, observou-se que as monocotiledôneas, dicotiledôneas e arbustivo/arbóreo apresentaram menor concentração de MS no período chuvoso ( $P < 0,05$ ). Nos demais períodos, a MS das monocotiledôneas e serapilheira foram semelhantes ( $P > 0,05$ ), enquanto para o estrato arbustivo/arbóreo, o maior teor de MS foi no período seco e para as dicotiledôneas no período seco e TSC.

Em relação às concentrações de MO, observou-se um menor conteúdo de MO na fração serapilheira, em comparação aos demais estratos ( $P < 0,05$ ), decorrente da menor concentração de nutrientes nesta fração. Já para os estratos em cada período, observa-se menor concentração de MO no período chuvoso para as monocotiledôneas e dicotiledôneas em relação aos outros períodos, enquanto para os estratos serapilheira e arbustivo/arbóreo não houve diferença ( $P > 0,05$ ).

Nos teores de PB, o estrato arbustivo/arbóreo apresentou maior concentração de PB em relação aos demais estratos ( $P < 0,05$ ) em todos os períodos avaliados, exceto no período seco, onde não diferiu ( $P > 0,05$ ) da fração serapilheira. Observou-se que a serapilheira apresentou teor de PB, numericamente maior que as monocotiledôneas e dicotiledôneas, nos períodos seco e TSC, provavelmente por apresentar em grande parte as folhas das plantas do estrato arbustivo/arbóreo, as quais possuem maiores concentrações de PB em relação as monocotiledôneas e dicotiledôneas.

Pode-se observar que apenas as monocotiledôneas no período de TSC ficaram abaixo do nível recomendado, uma vez que Van Soest (1994) enfatizou que os ruminantes necessitam de no mínimo 7,0% de PB para sua manutenção. No entanto, quando se tem um rebanho com diferentes categorias e fases fisiológicas podem ocorrer balanço negativo de proteína em determinado período do ano.

Formiga et al. (2011) avaliaram a composição das dicotiledôneas e outras gramíneas em uma caatinga raleada e enriquecida e observaram baixos valores de PB, principalmente nas gramíneas, justificando a aproximação da frutificação e senescência das plantas e uma maior frequência de gramíneas de baixo valor forrageiro como o capim panasco (*Aristida setifolia*). Neste estudo a gramínea *Aristida purpusii* Mez. Chase apresentou maiores frequências durante todos os períodos, o que pode ter justificado essa menor concentração de PB. No entanto, deve-se levar em consideração a capacidade seletiva dos caprinos e ovinos, uma vez que os mesmos podem selecionar uma dieta com maior valor nutricional do que está disponível no pasto. Lima Júnior (2010) observou que os valores de composição química do pasto de caatinga não variaram conforme os períodos, no entanto quando essa avaliação foi feita nas extrusas observou-se diferenças. O mesmo ressalta que isso se deve a capacidade

seletiva dos pequenos ruminantes, selecionando dieta superior em qualidade em relação àquela disponível no pasto.

Quando comparado cada estrato nos diferentes períodos, observou-se que o estrato arbustivo/arbóreo apresentou maiores concentrações de PB no período chuvoso e TSC, o que coincide com a ocorrência das chuvas, renovando o material vegetal e assim o conteúdo proteico, já a serapilheira manteve-se estável ao longo do ano. Além disso, a presença de plantas da Família das Fabaceae, como a catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul), jucá (*Caesalpinia ferrea* Mart.), jurema branca (*Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke), jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir), sabiá (*Mimosa Caesalpinifolia*) podem ter contribuído para essa maior concentração de PB no estrato arbustivo/arbóreo.

As dicotiledôneas apresentaram maiores teores de PB nos períodos chuvoso e TCS, enquanto as monocotiledôneas nos períodos, chuvoso, TCS e seco. Como citado anteriormente, esse comportamento pode estar relacionado com a própria fisiologia das plantas do estrato herbáceo, sendo que este tem uma resposta mais lenta aos primeiros pulsos de água quando comparado com estrato arbustivo/arbóreo, refletindo na composição bromatológica. A frequência de espécies de malvas, que permaneceram no decorrer do período da estiagem e a menor frequência ou desaparecimento de espécies dicotiledôneas conhecidas como forrageiras, tais como, as jitiranas (*Merremia aegyptia* (L.) Urb e *Ipomoea sericophylla*), cunhã (*Centrosema pascuorum* Mart. ex Benth), erva de ovelha (*Stylosanthes humilis* Kunth) podem ter contribuído para redução do valor nutricional. Isso mostra mais uma vez a importância da composição botânica, bem como a avaliação de sua frequência como reflexo na qualidade do pasto.

De forma geral, no período seco observou-se menores teores de PB nos estratos, com exceção da serapilheira, a qual se manteve estável. De acordo com Souza e Espíndola (2000), à medida que as plantas se aproximam da maturação, as mesmas passam a produzir maior quantidade de caules, com maiores concentrações de tecido de sustentação e menores proporções de proteínas. Somado a este fator, com o processo de floração e frutificação, grande proporção da proteína presentes nas folhas são direcionadas para constituir as sementes. A redução da umidade no solo também inibe a capacidade de rebrota que permite a renovação do conteúdo de PB. É necessário conhecer a porção de nitrogênio que é ligado à fibra, pois parte desta proteína pode estar indisponível ao animal.

Observou-se que para a concentração de FDN entre os períodos, apenas as dicotiledôneas apresentaram menor concentração de FDN no período chuvoso em relação aos demais períodos avaliados ( $P < 0,05$ ). Quando comparado os diferentes estratos, as



monocotiledôneas e as dicotiledôneas foram as que apresentaram maiores teores de FDN quando comparados com os estratos arbustivo/arbóreo e serapilheira, o que confirma também o menor teor de PB nos respectivos estratos (monocotiledôneas e dicotiledôneas). Como citado anteriormente, por a serapilheira apresentar grande porção das folhas do estrato arbustivo/arbóreo, a mesma apresentou menor teor de FDN. Pimentel et al. (1992) sugeriram que teores maiores de FDN são encontrados principalmente nas gramíneas, enquanto as dicotiledôneas, conforme Pereira Filho et al. (2013) apresentam concentrações menores de FDN quando comparadas as gramíneas. Santana et al. (2011) avaliaram a composição química do estrato herbáceo e arbustivo e observaram maiores teores de FDN e FDA para o estrato herbáceo.

Quando se avaliou a FDA, a serapilheira e as monocotiledôneas apresentaram menor concentração no período chuvoso ( $P < 0,005$ ). Nos demais períodos, a diferença ( $P < 0,05$ ) foi apenas para o estrato arbustivo/arbóreo, o qual apresentou menor concentração de FDA em relação aos demais estratos. Os elevados teores de FDN e FDA, principalmente das monocotiledôneas e dicotiledôneas devem estar relacionados com o avanço do estado fisiológico e a presença de espécies de baixo valor nutricional, como citado anteriormente.

Na avaliação de cada estrato nos diferentes períodos, os teores de FDA nas monocotiledôneas mantiveram-se estáveis nos diferentes períodos ( $P > 0,05$ ), enquanto as dicotiledôneas apresentaram menor teor de FDA no período chuvoso e na TCS e o estrato arbustivo/arbóreo obtiveram menores concentrações no período chuvoso e TSC.

O estrato arbustivo/arbóreo e a serapilheira apesar de possuírem menor teor de FDN e FDA apresentaram maiores concentrações de lignina. Quando comparado cada estrato nos diferentes períodos, apenas o estrato arbustivo/arbóreo apresentou diferenças ( $P < 0,05$ ), com menores teores de lignina no período chuvoso e TSC, comportamento semelhante aos teores de FDN e FDA. Conforme Araújo Filho et al. (2002), as variáveis que mais se alteram o grau de maturação das plantas da caatinga são a PB e a lignina. Oliveira (2015) avaliou a composição do pasto de caatinga raleada e obtiveram teores médios de FDN e FDA do pasto de 62,3% e 35,4%, respectivamente. Com o avanço do período seco, o teor de FDN e FDA das plantas aumentam devido à formação de novas paredes celulares e espessamento das demais (Mertens, 1993).

Os teores de DIVMS e DIVMO para as monocotiledôneas foram semelhantes nos diferentes períodos ( $P > 0,05$ ), enquanto no estrato arbustivo/arbóreo, a maior DIVMO ocorreu nos períodos de transições e seco, e a menor DIVMO no período chuvoso ( $P < 0,05$ ), já para o parâmetro de DIVMS estas diferenças não ocorreram ( $P > 0,05$ ).

Na fração serapilheira, a DIVMS e a DIVMO tiveram menores concentrações no período chuvoso e TSC ( $P<0,05$ ), provavelmente pelos maiores teores de taninos, os quais podem interferir na digestibilidade. As dicotiledôneas apresentaram menores DIVMS e DIVMO nos períodos de transições e seco, enquanto no período chuvoso apresentaram maiores concentrações. Os menores valores de DIVMS e DIVMO nas monocotiledôneas podem ser em razão do crescimento mais rápido com posterior senescência. Segundo Formiga et al. (2011), o rápido crescimento em gramíneas pode ocasionar mudança na estrutura, aumentando a porção fibrosa. Já esse mesmo comportamento nas dicotiledôneas, segundo Pereira Filho et al. (1997) pode ser em razão da baixa disponibilidade da biomassa de forragem com a redução da pluviosidade, bem como o desaparecimento de algumas espécies com maior valor nutricional. Observa-se na Tabela 5, que a biomassa de dicotiledôneas reduziu conforme houve a redução das chuvas e isso pode ter reflexo nas concentrações de digestibilidade.

Quando comparado os diferentes estratos em cada período, a serapilheira apresentou menor DIVMS no período chuvoso, enquanto nos demais períodos o estrato arbustivo/arbóreo e a serapilheira apresentaram maiores concentrações quando comparados com as frações das monocotiledôneas e as dicotiledôneas.

De um modo geral, a redução da digestibilidade da MS ou MO pode ser relacionada com a mudança da composição botânica e conseqüentemente da composição química ao longo do tempo, reforçando que a qualidade do pasto pode ser utilizada como um indicador de manejo da pastagem, porém deve estar associada com outros parâmetros, não sendo utilizada isoladamente. Segundo Moreira et al. (2006), os valores de digestibilidade das plantas da caatinga em geral, são muito baixos, sendo atribuído pelo alto valor de taninos, mesmo no período chuvoso, o que foi observado neste trabalho. A vegetação da caatinga compreende forrageiras com teores de proteína superiores a 200 g/kg MS, porém suas digestibilidades normalmente são baixas (Santos et al., 2010). Isso poderia estar associado ao fato de que estas forrageiras muitas vezes possuem altos teores de taninos, além disso, com o avanço do final do período chuvoso, se verifica o aumento de teor de fibras e da lignina (Moreira et al., 2006).

O teor de PB pode não ser limitante na caatinga, mas fatores como a provável presença de altos teores de taninos e lignina na forragem e sua baixa digestibilidade, associados à expressiva porcentagem de proteína ligada a FDA, poderiam tornar esses nutrientes limitantes ao desempenho animal, em época chuvosa.

### Indicadores para monitoramento da pastagem nativa de caatinga

É importante ressaltar a importância de todas as variáveis discutidas anteriormente, pois o ecossistema de pastagem é um equilíbrio entre solo, plantas e animais, e a interligação destes, juntamente com o desenvolvimento de índices qualitativos podem funcionar como uma ferramenta de monitoramento de áreas de pastagem de caatinga, com o intuito de auxiliar na tomada de decisões, com a adoção de manejos compatíveis com a situação da área e que visem à sustentabilidade dos sistemas de produção de animais em pastejo.

Baseado nas informações da área estudada foi proposto alguns atributos para classificação do grau de degradação das áreas de pastagens naturais de caatinga (Tabela 7) para que funcione como padrão para indicações de monitoramento, em nível de espaço-tempo, podendo estes ser adaptados.

Tabela 7 - Atributos para classificação do grau de degradação de áreas de pastagem naturais em independência, sertão do Ceará.

Atributos	Notas				
	1	2	3	4	5
Número de espécies na área	1-3	4-6	7-10	11-13	14-17
Número de espécies forrageiras	0-1	2-3	4-5	6-7	> 8
Altura (cm)	< 20	21-40	41-60	60-80	>80
Solo descoberto (%)	80-100	60-79	30-59	10-29	1-9
Cobertura vegetal (%)	0-20	21-40	41-70	71-90	91-100
Serapilheira (kg MS/ha)	>2000	901-2000	401-900	250-400	< 250
Massa de forragem (kg MS/ha)	< 900	901-2000	2001-4000	4001-6000	>7000
PB (%) do estrato herbáceo	9,55	9,03	8,79	8,86	8,84
DIVMO (%) do estrato herbáceo	53,87	52,50	51,46	51,24	50,79

#### *Escala de classificação do grau de degradação com base em atributos da pastagem natural*

<i>Nota</i>	1-9	10 - 18	19 - 27	28 - 36	37 - 45
<i>Classificação</i>	Muito degradada	Degradada	Em recuperação	Boa	Ótima

Matéria seca - MS; Proteína bruta - PB; Digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica - DIVMO.

Dentre os parâmetros escolhidos, o número de espécies na área indica a diversidade, a qual deve ser associada com o número de espécies forrageiras, uma vez que estas tem contribuição na alimentação dos animais em pastejo. De acordo com o uso do método de avaliação visual com atribuições de notas, observa-se que à medida que se tem um maior número de espécies na área, há um aumento de espécies forrageiras, e, portanto apresentam notas maiores quando comparadas com aquelas que possuem menor número de espécies (Tabela 7). Wang et al. (2002) verificaram que áreas mais degradadas ocorrem a redução da

diversidade de espécies e consequentemente a heterogeneidade da pastagem. Assim, áreas degradadas são substituídas gradativamente por espécies de baixa produtividade e pouco exigentes em fertilidade, ou em casos mais severos, ocorrem a total remoção da cobertura vegetal, com consequência há o aumento de solos descobertos e susceptíveis aos processos de erosão (Dias Filho, 2014).

O número de espécies forrageiras pode ser utilizado como indicador de medida para recuperação de áreas de pastagem de caatinga, uma vez que estas são espécies-alvo e são estabelecidas como prioritárias em situações de pastejo de animais, pois compõem a dieta dos mesmos, com influência no desempenho produtivo e reprodutivo. Estas são preferidas pelos animais por apresentar maiores valores nutricionais e serem mais palatáveis, podendo ser indicativos também de melhor qualidade do pasto. Segundo Samu et al. (2008) é preciso definir critérios, os quais citam as espécies raras como aquelas prioritárias quando o objetivo é de conservação da área. O uso do indicador número de espécies forrageiras é um atributo com maior peso de avaliação de uma área em relação apenas a designação do número de espécies, pois esta última é pouco conclusiva, já que não leva em conta a especificidade das espécies, ou seja, se existem espécies raras, ameaçadas de extinção, forrageiras, tóxicas, invasoras.

Em relação à altura, as notas 1 e 2 são aquelas que apresentam uma estrutura do pasto mais baixa, o qual irá influenciar no menor volume de massa de forragem, enquanto as notas 4 e 5 são aquelas que por apresentarem maiores alturas, consequentemente apresentarão maiores massas de forragem (Tabela 7). No entanto, apesar desse ponto positivo, deve-se levar em consideração o equilíbrio entre altura e valor nutricional, pois à medida que a planta cresce, os compostos estruturais aumentam, enquanto o conteúdo celular diminui o que faz com que a qualidade da forrageira tenha tendência a reduzir com o aumento da altura da planta. Esse comportamento pode ser observado em relação aos valores de PB e DIVMO, que decresceram à medida que a nota visual aumentou (Tabela 7), pois por ser uma medida de avaliação visual, em que se observa a relação entre altura, cobertura do solo e densidade de plantas no momento de coleta em campo, na área amostrada, os aspectos de composição nutricional não são avaliados em campo, apenas posteriormente no laboratório.

Na situação entre os atributos de altura e valor nutricional deve haver um equilíbrio entre a relação de massa de forragem e valor nutricional, priorizando por aquela que apresente melhor resposta no desempenho do animal sem degradar a área de pastagem. Para Akiyama e Kawamura (2007) deve existir um equilíbrio entre produção de forragem e consumo de forragem pelos animais, pois caso o consumo dos animais seja maior que o nível de produção de forragem da área, o que se terá são áreas degradadas. Essa avaliação pode ser medida

baseada em características e parâmetros os quais foram propostos na Tabela 7, onde a produção de massa de forragem está dependente de condições climáticas e a presença de espécies vegetais, principalmente aquelas consideradas forrageiras, enquanto o consumo vai ser condicionado à taxa de lotação e o valor nutricional do pasto.

Outro aspecto a ser discutido é em relação à porcentagem de solo descoberto, bem como a sua cobertura vegetal. Nota-se que existe uma relação inversa entre estes dois parâmetros e que notas mais baixas apresentam menor cobertura vegetal e consequentemente maior percentual de solo descoberto. De acordo com Silva e Botelho (2014), solos descobertos contribuem para o escoamento superficial, o que acelera consideravelmente a erosão e perda de nutrientes do solo. A perda de nutrientes do solo vai ter reflexo na mudança da composição de vegetação e com consequência irão afetar a qualidade do pasto.

Altas taxas de lotação, incompatíveis com a capacidade de suporte da área também pode contribuir com o maior percentual de solo descoberto. Segundo Sattler et al. (2018), à pressão exercida pelos animais no solo provoca compactação do solo e consequente redução da porosidade e infiltração de água. Essa afirmação corrobora com Moreira et al. (2014) quando relataram que as modificações nas estruturas do solo ocasionam alterações no armazenamento de água e desenvolvimento radicular das plantas. Por isso em áreas que apresentam maior percentual de solos descobertos há uma maior presença de espécies invasoras, pois são menos exigentes em água e fertilidade.

A cobertura vegetal reflete na massa de forragem e na composição qualitativa da mesma. Observa-se que notas maiores apresentam maiores massas de forragens com menor proporção de serapilheira, enquanto notas menores apresentam maior massa de forragem em relação ao componente vegetal e maior proporção de serapilheira (Tabela 7). Essa informação é significativa em relação à qualificação das áreas de pastagem, uma vez que interferem nos valores qualitativos, pois em geral a serapilheira apresenta menor concentração de proteína e digestibilidade. No trabalho em questão, como discutido no tópico anterior, as digestibilidades da serapilheira apresentaram-se maiores, nos período TCS e seco por estas serem compostas principalmente de folhas de árvores e arbustos, as quais apresentaram melhor qualidade nutricional nesses períodos citados.

Estes atributos sugeridos para a classificação de graus de degradação em áreas de pastagem nativa de caatinga fornecem informações importantes sobre os processos que podem ocorrer dentro do sistema. Foram sugeridas cinco situações que variam de áreas muito degradadas até aquelas em ótimas condições (Tabela 7) para que o produtor possa ter um sistema base que indique o atual estágio da área para que o mesmo possa utilizar de

estratégias de manejo para realizar o processo de recuperação e assim possam reduzir as limitações de produtividade.

Observa-se que áreas com até 18 pontos foram consideradas em nível de degradação alta (Tabela 7) e que exigem estratégias de manejo de reflorestamento da área, com introdução de espécies forrageiras que aumentem a capacidade de suporte e a resiliência do sistema. Nesta situação, o ideal é não colocar animais na área ou ter o seu uso restrito para que a área possa se recuperar. Conforme Akiyama e Kawamura (2007), o sobrepastejo de animais em longo prazo e o manejo agrícola incorreto é uma das causas do aumento do nível de degradação das pastagens. Os mesmos ressaltaram que a recuperação das áreas com introdução de espécies por meio do processo de sucessão é promissora para a recuperação da vegetação e controle da desertificação

Nas áreas que se somam até 27 pontos são consideradas áreas em recuperação, e, portanto recomenda-se plantio de mudas e ressemeadura, bem como técnicas de conservação do solo e da água, tais como o aumento da produção de serapilheira, aumento da cobertura vegetal, com a introdução de gramíneas e o uso de animais na área deve ser restrito e controlado, com modificações nas taxas de lotação e capacidade de suporte como foi proposto na Tabela 5 de acordo com os períodos do ano. A implantação de sistemas de integração podem auxiliar na recuperação destas áreas, com a introdução de componentes agrícolas (milho, arroz, feijão), animal (caprinos, ovinos, bovinos) e componente arbóreo (floresta, plantas frutíferas, leguminosas – leucina, gliricídea) aumentando a fertilidade do solo e a diversificação da produção.

De acordo com a escala proposta, a partir de 28 pontos, estas áreas se apresentam mais produtivas em relação aos aspectos quantitativos e qualitativos e com maior capacidade de resiliência do sistema. Como foi proposta na Tabela 5, a capacidade de suporte nestes sistemas podem ser maiores, pois o aporte forrageiro, cobertura vegetal e qualidade do pasto são melhores em relação às situações com notas de escalas mais baixas. Nas áreas consideradas boas e ótimas, o componente arbóreo está mais presente e são essenciais como alimento e auxiliam no controle de erosão. Segundo Rego et al. (2017) o ecossistema de pastagem em equilíbrio além de promoverem o controle da erosão, conservação dos recursos hídricos e do solo possuem elevado potencial para o sequestro de carbono e preservação da biodiversidade.

Desta forma, os atributos sugeridos para esta classificação de graus de degradação devem ser avaliados conjuntamente para não fornecer avaliações e interpretações equivocadas

quanto às áreas de pastagens e seu aproveitamento pelos animais em pastejo, além de possibilitar as estratégias de manejo para alcançar os objetivos propostos.

## CONCLUSÕES

A área apresenta grande diversidade de espécies, mas a presença de plantas invasoras e de baixo potencial forrageiro causa redução no valor nutricional do pasto.

As condições climáticas, relacionadas principalmente com a distribuição das chuvas, nos diferentes períodos e estratos avaliados afetam a disponibilidade de massa de forragem, cobertura do solo e vegetal, frequência de espécies forrageiras do estrato herbáceo, bem como o valor nutricional do pasto, obtendo melhores resultados no período chuvoso.

A utilização dos padrões visuais para determinar a massa de forragem pode ser utilizada como ferramenta de monitoramento da produção de forragem para tomadas de decisões rápidas sobre o manejo da pastagem.

Os índices para monitoramento da pastagem nativa de caatinga trazem informações dos graus de degradação de um sistema e funcionam como ferramentas para detectar a situação da área de pastagem, contribuindo com o melhor gerenciamento dos recursos forrageiros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKIYAMA, T.; KAWAMURA, K. Grassland degradation in China: Methods of monitoring, management and restoration. **Grassland Science**, v. 53, n. 1-17, 2007.
- ALBUQUERQUE, S. G.; SOARES, J. G. G.; GUIMARÃES FILHO, C. Effect of grazing by steers and a long drought on a Caatinga ligneous stratum in Semiarid Northeast, Brazil. **Caatinga**, v. 21, n. 4, p. 17-28, 2008.
- ALVES, L. I. F.; SILVA, M. M. P.; VASCONCELOS, K. J. C. Visão de comunidades rurais em Juazeirinho - PB referente à extinção da biodiversidade da caatinga. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 1, p. 180-186, 2009.
- ALVES, A. L. R. et al. Análise da estrutura vegetacional em uma área de Caatinga no município de Bom Jesus, Piauí. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 4, p. 99-106, 2013.
- ANDRADE, A.P. et al. Produção animal no Bioma Caatinga: paradigmas dos “pulsos - reservas”. 43ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. João Pessoa - PB: **Anais...** 2006. p. 110-124.
- ANDRADE, R. L. et al. Deposição de serrapilheira em área de caatinga na RPPN “Fazenda Tamanduá”, Santa Terezinha - PB. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 2, p. 223-230, 2008.

AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). **Official methods of analysis**. 15. ed. Washington: AOAC, 1990.

ARAÚJO FILHO, J. A.; VALE, L. V.; ARAÚJO NETO, R. B. Dimensões de parcelas para amostragem do estrato herbáceo da Caatinga raleada. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Campo Grande-MS: **Anais...** 1986. p. 268.

ARAÚJO FILHO, J. A. **Manipulação da vegetação lenhosa da caatinga para fins pastoris**. Sobral, CE: Embrapa-CNPC, 1992. 18 p.

ARAÚJO FILHO, J. A. et al. Pastoreio misto em caatinga manipulada no sertão do Ceará. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 4, n. 1-2, p. 9-21, 2002.

ARAÚJO FILHO, J. A. **Manejo Pastoril Sustentável da Caatinga**. Recife, PE: Projeto Dom Helder Câmara, 2013. 200 p.

BAKKE, O. A. et al. Produção e utilização da forragem de espécies lenhosas da caatinga. In: GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V.; SÁ, B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 160-179.

BARBOSA, M. D. **Composição florística, regeneração natural, decomposição e ciclagem de nutrientes, em área de Caatinga hipoxerófila em Arco Verde, Pernambuco**. 2012. 181 f. Tese (Doutorado em Ciências florestais), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.

CANFIELD, R. Application of line interception in sampling range vegetation. **Journal of Forestry**, v. 39, p. 388-394, 1941.

CARNEIRO, M. S. S.; SOUZA, P. Z.; AZEEVEDO, A. R. Metodologias para avaliação quantitativa de plantas forrageiras em animais: Uma revisão. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 2, n. 2, p. 224-232, 2000.

CARVALHO JÚNIOR, A. M. et al. Efeito da suplementação nas características de carcaça e dos componentes não-carcaça de caprinos F1 Boer x SRD terminados em pastagem nativa. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 7, p. 1301-1308, 2009.

CEARÁ. Secretaria de Planejamento e Gestão Seplag. **Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - Ipece**, 2016. Fortaleza, 2016. Disponível em: <[http://www.ipece.ce.gov.br/perfil\\_basico\\_municipal/2016/Independencia.pdf](http://www.ipece.ce.gov.br/perfil_basico_municipal/2016/Independencia.pdf)>. Acesso em: 19 abr. 2017.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 3. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 190 p. 2007.

FARIAS, S. G. G. et al. Fisionomia e estrutura de vegetação de Caatinga em diferentes ambientes em Serra Talhada - Pernambuco. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 435-448, 2016.

FELFILI, J. M. et al. Procedimentos e métodos de amostragem de vegetação. In: FELFILI, J. M.; EISENLOHR, P. V.; MELO, M. M. R. F.; ANDRADE, L. A.; MEIRA-NETO, J. A. A.



(Ed.). **Fitossociologia no Brasil - Métodos e estudo de casos**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011. p. 86-121.

FORMIGA, L. D. A. S. et al. Valor nutritivo da vegetação herbácea de caatinga enriquecida e pastejada por ovinos e caprinos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 12, n. 2, p. 403-415, 2011.

GARIGLIO, M. A. et al. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais de Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro /MMA, 2010. 368 p.

HAYDOCK, K. P.; SHAW, N. H. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, v. 15, n. 76, p. 663-670, 1975.

HOLANDA, A. C. **Estrutura da comunidade arbustivo-arbórea e suas interações com o solo em uma área de caatinga, pombal-PB Recife**. 2012. 164 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2006: Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação**. - Rio de Janeiro, 2006. 777 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Dados históricos de Sobral, CE em 2015. **INMET**, 2015. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

LEMO, J. R.; MEGURO, M. Estudo fitossociológico de uma área de Caatinga na Estação Ecológica (ESEC) de Aiuaba, Ceará, Brasil. **Biotemas**, v. 28, n. 2, p. 39-50, 2015.

LIMA JÚNIOR, V. **Exigências nutricionais de caprinos da raça Canindé suplementados em pastejo na Caatinga**. 2010. 97 f. Tese (Doutorado em Zootecnia), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba - Areia, 2010.

MARANGON, G. P. et al. Estrutura e padrão espacial da vegetação em uma área de Caatinga. **Floresta**, v. 43, n. 1, p. 83-92, 2013.

MERTENS, D. R. Kinetics of cell wall digestion and passage in ruminants. In: JUNG, H. D.; BUXTON, D. R.; HATFIELD, R. D.; RALPH, J. (Eds.) **Forage cell wall structure and degradability**, ASA, CSSA, SSSA, Madison, 1993. p. 535-570.

MOREIRA, J. N. et al. Caracterização da vegetação de caatinga e da dieta de novilhos no sertão de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 11, p. 1643-1651, 2006.

MOREIRA, F. R. et al. Least limiting water range in an Oxisol cultivated under a no-tillage system for 25 years. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 118-127, 2014.

OLIVEIRA, O. F. **Caracterização da vegetação, desempenho e seletividade de ovinos, em Caatinga raleada sob lotação contínua, Serra-Talhada-PE**. 2012. 102 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.

OLIVEIRA, D. G.; PRATA, A. P.; FERREIRA, R. A. Herbáceas da Caatinga: composição florística, fitossociologia e estratégias de sobrevivência em uma comunidade vegetal. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 4, p. 623-633, 2013.

OLIVEIRA, O. F. et al. Características quantitativas e qualitativas de Caatinga raleada sob pastejo de ovinos, Serra Talhada (PE). **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 223-229, 2015.

OLIVEIRA, P. P. A. Gases de efeito estufa em sistemas de produção animal brasileiros e a importância do balanço de carbono para a preservação ambiental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, número especial, p. 623-634, 2015.

PEREIRA FILHO, J. M. et al. Variações plurianuais da composição florística do estrato herbáceo de uma caatinga raleada, submetida ao pastejo alternado ovino-caprino. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 26, n. 2, p. 234-239, 1997.

PEREIRA FILHO, J. M. et al. Manejo da Caatinga para produção de caprinos e ovinos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 1, p. 77-90, 2013.

PEREIRA JUNIOR, L. R.; ANDRADE, A. P.; ARAÚJO, K. D. Composição florística e fitossociológica de um fragmento de caatinga em Monteiro, PB. **Holos**, v. 6, p. 73-87, 2012.

PIMENTEL, J. C. N. et al. Composição botânica da dieta de ovinos em área de caatinga raleada no sertão do Ceará. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 21, n. 2, p. 211-241, 1992.

REGO, C. A. R. M et al. Cost Analysis of Corn Cultivation in the Setup of the Crop-Livestock-Forest Integration System to Recover Degraded Pastures. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 6, p. 168, 2017.

RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S.; FIGUEIREDO, M. A. **Manual sobre métodos de estudo florístico e fitossociológico: ecossistema caatinga**. Brasília: Sociedade Botânica do Brasil, 1992. 24 p.

SAMU, F.; CSONTOS, P.; SZINETAR, C. From multi-criteria approach to simple protocol: assessing habitat patches for conservation value using species rarity. **Biological Conservation**, v. 141, n. 5, p. 1310-1320, 2008.

SANTANA, J. A. S.; SOUTO, J. S. Diversidade e estrutura fitossociológica da caatinga na estação ecológica do Seridó, RN. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 2, p. 232-242, 2006.

SANTANA, D. F. et al. Caracterização da caatinga e da dieta de novilhos fistulados, na época chuvosa, no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 1, p. 69-78, 2011.

SANTOS, G. R. A. et al. Determinação da composição botânica da dieta de ovinos em pastejo na Caatinga. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 10, p. 1876-1883, 2008.

SANTOS, M. V. F. et al. Potential of Caatinga forage plants in ruminant feeding. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 204-215, 2010.

SATTLER, D. et al. **Pasture Degradation in South East Brazil: Status, Drivers and Options for Sustainable Land Use Under Climate Change**. In: CLIMATE CHANGE ADAPTATION IN LATIN AMERICA. Springer, Cham, 2018. p. 3-17.

SENGER, C. C. D. et. al. Evaluation of autoclave procedures for fibre analysis in forage and concentrate feedstuffs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 146, p. 169-174, 2008.

SILVA, N. L. et al. Técnicas de manejo no controle do capim panasco verdadeiro (*Aristida adscensionis* Linn.). In: XXXVII REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, p. 137, 2000.

SILVA, N. L.; ARAÚJO FILHO, J. A.; SOUSA, F. B. Manipulação da vegetação da caatinga para produção sustentável de forragem. **Circular Técnica 34**, Embrapa Caprinos, Sobral, CE, 2007. p. 1-11.

SILVA, S. C. et al. Grazing behaviour, herbage intake and animal performance of beef cattle heifers on marandu palisade grass subjected to intensities of continuous stocking management. **Journal of Agricultural Science**, v. 151, n. 5, p. 727-739, 2013.

SILVA A. S.; BOTELHO R. G. M. Degradação dos solos no estado do Rio de Janeiro. In: Guerra AJT, Jorge MCO (eds) **Degradação dos Solos no Brasil**. 1ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014, p. 261-292, 2014.

SOUZA, A. A.; ESPÍNDOLA, G. B. Bancos de proteína de leucena e de guandu para suplementação de ovinos mantidos em pastagens de capim-buffel. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 29, n. 2, p. 365-372, 2000.

SOUZA, C. et al. Disponibilidade e valor nutritivo da vegetação de Caatinga no Semiárido norte Rio-grandense do Brasil. **Holos**, v. 3, n. 29, p. 196-204, 2013.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. **User's guide**. Cary: SAS Institute, 525p., 2002.

TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C.; SANTOS, A. M. M. Análise de representatividade das unidades de conservação de uso direto e indireto na Caatinga: análise preliminar. 2000. In: SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M. (Coord.) **WORKSHOP Avaliação e identificação de ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma caatinga**. Petrolina, 2000. 13 p.

TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. **Journal of British Grassland Society**, v. 18, n. 2, p. 104-111, 1963.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. Ed., Ithaca, New York (USA): Cornell University Press, 1994. 476 p.

WANG, Y. et al. Spatial heterogeneity of vegetation under different grazing intensities in the Northwest Heilongjiang Steppe of China. **Agriculture Ecosystem Environment**, v. 90, n. 3, p. 217-229, 2002.

## **CAPÍTULO 3**

---

Valor nutricional da Dieta e Consumo de Pequenos Ruminantes em Pasto  
Nativo de Caatinga

## RESUMO

Objetivou-se com este estudo avaliar a composição química, a digestibilidade e o consumo de nutrientes da dieta selecionada por caprinos e ovinos em pastejo na caatinga. Foram utilizados cinco caprinos e cinco ovinos fistulados no rúmen, onde foram coletadas extrusas, durante seis dias consecutivos, mensalmente por todo o período experimental. Para coleta das amostras fecais foram utilizadas bolsas coletoras de fezes, para estimar a produção total de fezes e assim determinar o consumo de matéria seca e dos demais nutrientes. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em arranjo fatorial  $4 \times 2$  (períodos x espécies). Houve diferença na composição química da dieta entre caprinos e ovinos ( $P < 0,05$ ), para os parâmetros de matéria orgânica, digestibilidade *in vitro* da matéria seca e orgânica, fibra em detergente neutro e ácido e lignina. Observou que as dietas dos caprinos apresentaram menores digestibilidades, possivelmente por um maior consumo de folhas de árvores e arbustos. Houve uma maior concentração de proteína bruta no período chuvoso, para ambas as espécies, no entanto, esta apresentou maior valor de proteína insolúvel em detergente ácido e neutro para o mesmo período de avaliação. O maior consumo de matéria seca para os caprinos foi na transição seca/chuva, enquanto para os ovinos, neste mesmo período, houve um menor consumo de matéria seca ( $P < 0,05$ ). Os maiores consumos observados nestes períodos estão relacionados com a disponibilidade e qualidade do pasto, aumentando o consumo para compensar o menor valor nutricional do pasto, e assim atender suas exigências nutricionais. A menor qualidade do pasto concomitante à chegada do período de escassez influenciou na redução do consumo de proteína bruta no período seco para caprinos e ovinos. O consumo de matéria seca influenciou no consumo dos demais nutrientes em ambas as espécies e períodos avaliados. A qualidade da dieta de caprinos e ovinos é afetada pelo período avaliado, a qual possui reflexo no consumo de nutrientes e na digestibilidade.

**Palavras-chave:** caprinos, composição química, fatores antinutricionais, ovinos, pastagem nativa

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the chemical composition, digestibility and nutrient intake of the diet selected by goats and sheep grazing in the caatinga. Five goats and five sheep fistulated in the rumen, where extrusas were collected for six consecutive days, monthly for the whole experimental period. Fecal collection bags were used to collect fecal samples to estimate the total fecal production and to determine the dry matter and other nutrients consumption. The experimental design was completely randomized, in factorial arrangement  $4 \times 2$  (periods x species). There was a difference in the chemical composition of the diet between goats and sheep ( $P < 0.05$ ), for organic matter parameters, in vitro dry and organic matter digestibility, neutral detergent fiber and lignin. It was observed that the diets of goats had lower digestibilities, possibly due to a greater consumption of leaves of trees and shrubs. There was a higher concentration of crude protein in the rainy period, for both species, however, it presented higher value of acid detergent insoluble protein and neutral for the same evaluation period. The highest intake of dry matter for goats was in the dry/rainy transition, whereas for sheep, during the same period, there was a lower intake of dry matter ( $P < 0.05$ ). The highest consumptions observed in these periods are related to the availability and quality of the pasture, increasing the consumption to compensate the lower nutritional value of the pasture, and thus to meet its nutritional requirements. The lower quality of the pasture concomitant to the arrival of the shortage period influenced in the reduction of crude protein consumption in the dry season for goats and sheep. The dry matter consumption influenced the consumption of other nutrients in both species and evaluated periods. The quality of the goats and sheep diet is affected by the evaluated period, which has a reflection on nutrient consumption and digestibility.

**Key words:** antinutritional factors, chemical composition, goats, native pasture, sheep

## INTRODUÇÃO

A criação de caprinos e ovinos na região Semiárida é uma atividade de grande importância social e econômica, sendo estes criados em sua maioria em sistemas extensivos e tendo como principal fonte de alimentação, a vegetação do bioma Caatinga, que compreende espécies arbóreas e arbustivas de pequeno e médio porte e herbáceas de ciclos anuais, as quais apresentam mecanismos de adaptação responsáveis pela resiliência do sistema. Contudo, este bioma é caracterizado pela má distribuição das chuvas o que acarreta flutuações em termos quantitativos e qualitativos da forragem ao longo do ano, comprometendo o desempenho de pequenos ruminantes em pastejo, principalmente no período seco.

Diante desse cenário, torna-se necessário conhecer a qualidade da dieta selecionada por pequenos ruminantes em pastagem nativa de caatinga, uma vez que a mesma é determinada pelo valor nutricional e o potencial de consumo. O valor nutritivo da forragem pode variar conforme a época do ano, tipo de caatinga, parte da planta, variáveis ambientais, maturidade, tipo de solo, manejo e diversidade da vegetação (Santana et al., 2011; Silva et al., 2011; Nunes et al., 2016).

A qualidade do pasto quando associado ao consumo de nutrientes são a base para determinação da necessidade da suplementação alimentar. No entanto, a capacidade seletiva dos animais, faz com que o valor nutricional da dieta ingerida seja diferente do que está disponível no pasto (Coates e Dixon, 2011). A compreensão destes mecanismos é importante para estimar o consumo de pequenos ruminantes em pastejo. Porém, a estimativa de consumo em pastagens heterogêneas, como a caatinga, onde há uma grande variedade de espécies, associada à variação da disponibilidade de forragem e os valores nutricionais ao longo do ano, podem dificultar essa determinação.

O consumo voluntário é influenciado pela composição bromatológica do pasto e as exigências nutricionais (Formiga et al., 2011). Portanto, em situação de pastejo em áreas de caatinga, o consumo de matéria seca (CMS) pode ser alterado em função dos períodos, chuvoso, seco ou transições, composição química da dieta, e outros fatores, e o entendimento destes, implicará na adequação do manejo das pastagens e suplementações estratégicas.

Dessa forma, objetivou-se avaliar o efeito dos períodos e a seletividade de caprinos e ovinos em pastejo na caatinga sob a composição química, a digestibilidade e o consumo de nutrientes.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Descrição do local

O experimento foi conduzido na fazenda da Escola Família Agrícola Dom Fragoso, localizada na comunidade de Santa Cruz (5° 23' 53" de latitude sul, 40° 18' 38" de longitude oeste, com altitude média de 351 m), situada a 14 km da sede do município de Independência, Ceará. O clima é caracterizado como tropical quente semiárido, com uma temperatura média variando de 26 a 28 °C, tendo como período chuvoso, principalmente os meses de fevereiro a abril (IPECE, 2016). A vegetação predominante na região é a caatinga arbustiva aberta e floresta caducifolia espinhosa, (IPECE, 2016).

Na Figura 1 estão apresentados os registros de precipitação pluvial da estação experimental da EFA, correspondente ao período de maio de 2014 a abril de 2015, com um total de 505,3 mm, no período experimental.

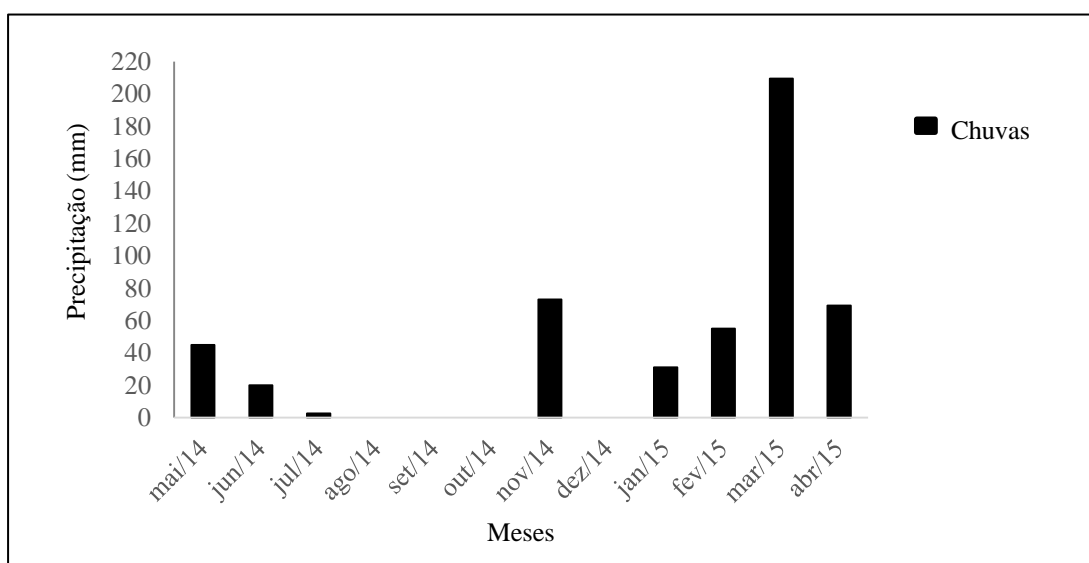


Figura 1 - Precipitação pluvial durante o período experimental, na EFA Dom Fragoso em Independência - CE.

### Animais, manejo e instalações

A utilização dos animais, bem como os procedimentos com os quais foram realizadas as coletas foram aprovados pelo Comitê de Ética em Experimentação Animal da Universidade Estadual Vale do Acaraú - CEUA/UVA (protocolo nº 032.12).



Para determinação da composição bromatológica da dieta selecionada, foram utilizados cinco caprinos e cinco ovinos fistulados no rúmen, com idade média de 3,5 anos e peso vivo médio de  $35,87 \pm 4,69$  e  $33,45 \pm 4,34$  kg, respectivamente.

Os animais foram manejados em área de 35 hectares (ha) de pastagem nativa, com dimensões de 8,0 ha na primeira área e 13,5 ha na segunda e terceira área. Os animais em pastejo receberam água e suplemento comercial Ovinofós e Caprinofós com minerais orgânicos (Tortuga) *ad libitum* durante todo o ano e durante a época seca foram suplementados com concentrado a 1% do peso vivo. Cinco dias antes das coletas, o suplemento com concentrado era suspenso, para que fosse possível avaliar apenas a dieta a base de forragem.

### **Caracterização da qualidade da dieta selecionada por pequenos ruminantes**

A coleta de extrusa para estimativa da qualidade da dieta de caprinos e ovinos foi realizada mensalmente, durante seis dias consecutivos, por todo o período experimental.

Os animais passaram por jejum de aproximadamente 14 horas e, em seguida foi feita a evacuação ruminal, conforme metodologia descrita por Olson (1991), para posteriormente terem acesso à caatinga durante 40min-1h (dependendo da disponibilidade de forragem), sem acesso a água e sal mineral, durante esse período. Após o pastejo, o material da extrusa foi recolhido diretamente do rúmen, acondicionado em sacos plásticos identificados e congelados para análises da composição bromatológica. Posteriormente a esse processo, o conteúdo ruminal inicialmente retirado foi devolvido para o rúmen. Para garantir que esse procedimento não causava efeito deletério sobre a microbiota ruminal foi feito o acompanhamento do potencial redox e potencial hidrogeniônico - pH no início e após retornar o material novamente ao rúmen. A avaliação do potencial redox foi feita de acordo com a técnica descrita por Feitosa (2008), denominada tempo de redução do azul de metileno (TRAM) e para mensuração do pH foi utilizado um pHmetro portátil, previamente calibrado e introduzido no líquido ruminal coletado, sendo o valor aferido e anotado posteriormente.

Na coleta das amostras fecais foram utilizadas bolsas coletoras de fezes, as quais foram colocadas no primeiro dia de coleta e retiradas no último dia. As coletas de fezes foram feitas duas vezes por dia, no período de 7:00 e às 17:00 horas. Após a coleta, estas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos identificados e pesadas. O peso total das fezes foi determinado através da soma dos pesos das fezes coletadas pela manhã e tarde, sendo

posteriormente homogeneizadas por animal, retirada uma amostragem, e levadas ao freezer para serem congeladas para posteriores análises.

A determinação da qualidade da dieta de caprinos e ovinos foi analisada por períodos, caracterizados como: chuvoso, transição chuva/seca (TCS), seco, transição seca/chuva (TSC). Para determinação dos meses que caracterizariam cada período foi levado em consideração os valores de proteína bruta das extrusas, onde foi gerada uma equação polinomial e em seguida utilizou-se a derivada para determinar os pontos máximo e mínimo. O ponto máximo foi equivalente ao período chuvoso, o mínimo ao período seco e os valores intermediários aos períodos de transição.

### **Determinação da composição bromatológica da dieta e o consumo de caprinos e ovinos**

Para determinação da composição química das extrusas e fezes, amostras de todo o período experimental foram levadas ao laboratório de análise de alimentos - LANA da Embrapa Caprinos e Ovinos, onde foram pesadas, colocadas em estufa de circulação forçada de ar  $\pm 55$  °C até obter peso constante, para determinação da matéria pré-seca. Em seguida, foram moídas em moinho de faca do tipo *Wiley* com peneira de poros de um milímetro de diâmetro e armazenadas em recipientes plásticos para posteriores análises.

Nas amostras de extrusas e fezes foram determinadas as concentrações de matéria seca (MS), matéria mineral (MM) e lignina em detergente ácido (LDA) conforme a AOAC (1990). A matéria orgânica (MO) foi calculada como a diferença entre a MS e o teor da matéria mineral. A concentração de nitrogênio total (N) foi determinada em sistema de combustão (Leco FP-628, Leco Corp., St. Joseph, MI, EUA). Para conversão dos valores de N em proteína bruta (PB) foi utilizado o fator de correção 6,25.

A concentração de extrato etéreo (EE) foi determinada em equipamento semiautomático ANKOM XT15 (ANKOM Technology Corporation, Fairport, NY, EUA), conforme metodologia de Firestone (2009). Na determinação de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foi utilizado o procedimento em autoclave, conforme metodologia descrita por Senger et al. (2008).

A digestibilidade da matéria seca (DMS) e da matéria orgânica (DMO) foi determinada por meio de ensaios de digestibilidade *in vitro* utilizando incubadora automática tipo MA443 (MA443, Marconi Equipamentos para Laboratórios Ltda., Piracicaba, SP, Brasil), conforme princípios da técnica de Tilley & Terry (1963). O líquido ruminal necessário para a avaliação foi coletado de animais pastejando em área de caatinga, tendo o

pasto mais suplementação de sal mineral e água *ad libitum* como única fonte de alimentação. Após o período de incubação de 48 horas, os saquinhos contendo os resíduos da digestão foram lavados em água corrente e, em seguida, tratadas em solução de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), por 40 minutos a 110 °C em autoclave, conforme Senger et al. (2008) e por fim, incineração em mufla a 600 °C durante 3 horas (AOAC, 1990).

Os teores de compostos nitrogenados insolúveis em detergente neutro (NIDN) e em detergente ácido (NIDA) foram estimados nos resíduos após a extração das amostras nos detergentes neutro e ácido, respectivamente, (Senger et al., 2008), por meio da determinação da concentração de N, em sistema de combustão (Leco FP-628, Leco Corp., St. Joseph, MI, EUA). Os teores de proteína insolúvel em FDN (PIDN) e FDA (PIDA) foram calculados multiplicando-se o valor de NIDN e NIDA pelo fator 6,25.

O consumo de matéria seca (CMS) foi obtido pela razão entre a produção fecal obtida pela coleta total de fezes, durante um período de 24 horas e, o inverso da digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) da extrusa de ovinos e caprinos, conforme a equação, estabelecida por Prigge et al. (1981).

$$\text{Consumo (kg de MS dia}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Produção de MS Fecal}}{1 - \text{DIVMS (g/kg)}} \quad (\text{Eq. 1})$$

A partir do CMS foram calculados os demais consumos de MO, PB, EE, FDN e FDA, multiplicando a quantidade de matéria seca consumida pelo percentual de cada um dos nutrientes na extrusa.

### **Análise Estatística**

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em um arranjo fatorial 4 × 2 (períodos x espécies). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância utilizando-se o procedimento GLM do *Statistical Analysis System* versão 9.2 do SAS (2002) e as médias entre os períodos de coleta e as espécies foram comparadas pelo teste *Tukey* (P<0,05).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração de MS não apresentou diferença ( $P>0,05$ ) entre caprinos e ovinos, no entanto, entre os períodos, os teores de MS foram diferentes ( $P<0,05$ ), com maior conteúdo de MS para os caprinos no período seco e TSC e para ovinos na TSC (Tabela 1). A maior concentração de MS na dieta de caprinos e ovinos nos períodos mais secos está relacionada com o menor teor de umidade das forragens nesse período. Na época chuvosa, o teor de MS de gramíneas, dicotiledôneas herbáceas e folhas de árvores e arbustos apresentaram valores de 61,06, 45,58 e 37,48%, respectivamente, aumentando para 89,65, 88,99 e 73,44% no período seco (Tabela 9 - Cap.2).

Tabela 1 - Teores de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) e digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO) da extrusa de pequenos ruminantes pastejando na caatinga, em diferentes períodos do ano.

Nutriente (g/kg)	Espécie	Períodos			
		Chuvoso	TCS	Seco	TSC
MS	caprino	104,8 <sup>aB</sup>	116,1 <sup>aB</sup>	163,7 <sup>aA</sup>	169,1 <sup>aA</sup>
	ovino	103,2 <sup>aB</sup>	113,9 <sup>aB</sup>	132,3 <sup>aB</sup>	168,6 <sup>aA</sup>
MO	caprino	873,8 <sup>aA</sup>	860,2 <sup>aA</sup>	883,3 <sup>aA</sup>	880,0 <sup>aA</sup>
	ovino	849,0 <sup>bC</sup>	858,1 <sup>aBC</sup>	874,5 <sup>aAB</sup>	892,8 <sup>aA</sup>
PB	caprino	240,4 <sup>aA</sup>	179,1 <sup>aB</sup>	126,6 <sup>aC</sup>	183,9 <sup>aB</sup>
	ovino	246,5 <sup>aA</sup>	172,6 <sup>aC</sup>	127,0 <sup>aD</sup>	195,4 <sup>aB</sup>
EE	caprino	47,6 <sup>aA</sup>	46,4 <sup>aA</sup>	40,7 <sup>aA</sup>	40,9 <sup>aA</sup>
	ovino	40,0 <sup>aA</sup>	41,2 <sup>aA</sup>	52,3 <sup>aA</sup>	42,2 <sup>aA</sup>
DIVMS	caprino	364,1 <sup>bA</sup>	336,7 <sup>bA</sup>	364,3 <sup>bA</sup>	346,7 <sup>bA</sup>
	ovino	403,4 <sup>aA</sup>	400,9 <sup>aA</sup>	430,0 <sup>aA</sup>	399,5 <sup>aA</sup>
DIVMO	caprino	456,3 <sup>aA</sup>	457,1 <sup>bA</sup>	492,0 <sup>bA</sup>	445,1 <sup>bA</sup>
	ovino	501,0 <sup>aB</sup>	557,0 <sup>aAB</sup>	589,2 <sup>aA</sup>	511,3 <sup>aB</sup>

Transição chuva/seca - TCS; Transição seca/chuva - TSC. Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na linha (períodos), e minúsculas na coluna (espécies), indicam diferença pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ).

Além da redução do teor de umidade das plantas dos diferentes estratos, á medida que ocorre a redução das chuvas, há um aumento na fração da serapilheira na dieta de pequenos ruminantes em pastejo na caatinga, o que pode ter levado a uma maior concentração de MS nas extrusas dos caprinos e ovinos, nos períodos seco e TSC. Segundo Parente et al. (2013), no final do período chuvoso, as plantas dos estratos arbustivo e arbóreo perdem suas folhas, constituindo o principal componente da serapilheira, que durante o período seco pode ser uma das principais fontes na dieta de ovinos em pastejo. Carvalho Júnior et al. (2011) também observaram maior concentração de MS em plantas da caatinga no período seco em relação ao período chuvoso.

A concentração de MO na dieta dos caprinos comparados aos ovinos foi maior no período chuvoso ( $P<0,05$ ), não apresentando diferenças entre os períodos para espécie caprina ( $P>0,05$ ), no entanto, para os ovinos observou-se menor teor de MO no período chuvoso e TCS ( $P<0,05$ ). Esse comportamento pode ser decorrente do hábito alimentar dos ovinos, com o pastejo mais rente ao solo, principalmente na época das chuvas, onde ocorre a rebrota das plantas do estrato herbáceo, o que pode ter influenciado os animais consumirem a forragem mais próxima ao solo, aumentando o consumo de matéria mineral, proveniente do solo, reduzindo assim, o conteúdo de matéria orgânica.

Os teores de PB da dieta não foram influenciados pela espécie ( $P>0,05$ ), já entre os períodos, o maior teor de PB foi observado no período chuvoso e o menor no período seco para ambas as espécies ( $P<0,05$ ) (Tabela 1). Observa-se que houve uma variação de PB de 126,6 a 240,4 g/kg na dieta de caprinos entre o período seco e o período chuvoso e para os ovinos de 127,0 a 246,5 g/kg, no mesmo período. Essa redução de PB representa um percentual de 90% para os caprinos e 94% para os ovinos, causada principalmente pelo aumento na proporção de carboidratos fibrosos à medida que o período seco se aproxima ou um aumento de plantas com baixo valor nutricional.

Pfister e Malechek (1986) avaliaram a dieta de caprinos e ovinos e observaram um declínio na concentração de PB na dieta dos mesmos de 18% no período chuvoso para 12% no período seco, enquanto a FDN aumentou de 36,6 para 52,4%, no mesmo período. Observa-se que mesmo com a redução da PB no período seco, esta ainda foi maior do que o mínimo proposto por Van Soest (1994), o qual recomenda no mínimo 7% de PB para atender as exigências mínimas dos animais. Esses resultados mostram a capacidade seletiva dos animais, os quais são capazes de selecionar uma dieta com valor nutricional superior àquela disponível no pasto. Somada a isto, conforme Broderick et al. (1991), ruminantes que se encontram a níveis nutricionais mais baixos tendem a conservar melhor a proteína, sendo uma das vantagens do ruminante em relação a outras espécies nas mesmas condições.

No entanto, alguns autores relatam que apesar das plantas da caatinga apresentar altos teores de PB, muitas vezes estas possuem baixa digestibilidade, em razão das concentrações de lignina ou de taninos, as quais podem estar ligadas a fração proteica, deixando indisponível a sua utilização pelo animal. Se observarmos na Tabela 2, os maiores valores de PDIN e PIDA na dieta de caprinos e ovinos foi no período chuvoso, o que coincide com o maior valor de PB nas dietas e possivelmente a maior participação de folhas dos estratos arbustivo e arbóreo, as quais apresentam maiores teores de PB e de taninos. Santos et al. (2009) avaliaram

a composição da dieta de ovinos na caatinga e encontraram valores de taninos variando de 1,28 a 5,29% no período seco e de 3,68 a 6,24% no período chuvoso.

Não houve diferença entre espécies e períodos para as concentrações de EE ( $P>0,05$ ). A baixa concentração de EE nas plantas da caatinga na área avaliada, associada à baixa ingestão de sementes ricas em óleo pode justificar a falta de efeito neste parâmetro.

A digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) e matéria orgânica (DIVMO) da dieta dos ovinos foi superior ( $P<0,05$ ) à da espécie caprina, exceto no período chuvoso, onde a DIVMO dos caprinos não diferiu ( $P>0,05$ ) em relação aos ovinos.

A menor digestibilidade na dieta dos caprinos em relação aos ovinos pode ter ocorrido pela maior ingestão de folhas de árvores e arbustos, as quais normalmente apresentam menores digestibilidades, comparadas aos outros estratos. Santos et al.(2009) corroboram com essa afirmação, onde os mesmos relatam que as forrageiras presentes nos estratos arbustivo e arbóreo apresentam baixo coeficiente de digestibilidade em razão das maiores concentrações de lignina e compostos secundários encontrados nessas forrageiras. Somado a este fator, os caprinos desse estudo consumiram, em alguns períodos, a casca de algumas árvores, o que pode ter ocasionado essa redução na digestibilidade. Pfister e Malechek (1986) também observaram maiores DIVMO para ovinos quando comparados com os caprinos, ressaltando que esta diferença poderia ser explicada pelo maior nível de plantas lenhosas na dieta das cabras. Segundo Wilson (1969), os níveis elevados de lignina são características deste tipo de forragem e maior grau de lignificação na dieta dos caprinos pode ter limitado a digestibilidade. Se observarmos na Tabela 2, apesar de não ter ocorrido diferenças nos teores de lignina ( $P>0,05$ ), os valores deste parâmetro para os caprinos foram superiores.

Quando comparado entre os períodos, a DIVMS de ambas as espécies foram semelhantes ( $P>0,05$ ). Já a DIVMO para os ovinos foi maior na época seca e TCS ( $P<0,05$ ). A maior DIVMO para os ovinos na época seca e TCS pode ter ocorrido pela menor proporção de folhas de árvores e arbustos na dieta de ovinos, uma vez que as folhas das plantas lenhosas podem apresentar menor digestibilidade quando comparado ao estrato herbáceo. Segundo Leite et al. (2002), as dicotiledôneas possuem maior DIVMO em relação as gramíneas e lenhosas. Os mesmos ressaltaram que a menor proporção de conteúdo fibroso das dicotiledôneas faz com que as mesmas apresentem maiores digestibilidades. Batista e Mattos (2004) corroboram com essa afirmação, uma vez que os mesmos atribuem à redução da digestibilidade da dieta dos ruminantes em área de caatinga, a maior proporção de caules e folhas de plantas lenhosas, por serem mais ricas em compostos secundários, que contribuem para essa redução.

Observa-se que os valores de DIVMS e DIVMO na estação chuvosa foram baixos, até mesmo quando comparados ao período seco. Isso pode ter ocorrido em função do período de coleta, pois apesar de um maior índice pluvial no mês de março (Figura 1), o reflexo da melhora nos valores de digestibilidade pode ter ocorrido apenas no mês seguinte. Contudo, observa-se que em geral a digestibilidade para ambas as espécies foram baixas, mostrando que a limitação das plantas da caatinga talvez não seja a proteína, mas a baixa digestibilidade.

Na Tabela 2 estão descritos os teores de FDN, FDA, lignina, PDIN e PIDA. A concentração de FDN na dieta dos caprinos foi maior em relação aos ovinos ( $P<0,05$ ), em todos os períodos avaliados.

Tabela 2 - Teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina, proteína insolúvel em detergente neutro (PDIN), proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) da extrusa de pequenos ruminantes em pasto de caatinga, em diferentes períodos do ano.

Nutriente (g/kg)	Espécie	Períodos			
		Chuvoso	TCS	Seco	TSC
FDN	caprino	687,1 <sup>aA</sup>	700,5 <sup>aA</sup>	716,3 <sup>aA</sup>	694,7 <sup>aA</sup>
	ovino	652,1 <sup>bA</sup>	663,1 <sup>bA</sup>	658,7 <sup>bA</sup>	656,7 <sup>bA</sup>
FDA	caprino	459,1 <sup>aB</sup>	537,4 <sup>aA</sup>	538,8 <sup>aA</sup>	482,7 <sup>aB</sup>
	ovino	459,0 <sup>aB</sup>	523,9 <sup>aA</sup>	511,5 <sup>aA</sup>	455,9 <sup>bB</sup>
LIG	caprino	189,9 <sup>aA</sup>	195,2 <sup>aA</sup>	199,6 <sup>aA</sup>	147,7 <sup>aB</sup>
	ovino	157,5 <sup>bAB</sup>	175,0 <sup>aA</sup>	155,4 <sup>bAB</sup>	137,3 <sup>aB</sup>
PDIN	caprino	56,9 <sup>aA</sup>	47,9 <sup>aAB</sup>	31,1 <sup>aB</sup>	43,0 <sup>aAB</sup>
	ovino	63,4 <sup>aA</sup>	47,9 <sup>aAB</sup>	44,7 <sup>aB</sup>	49,2 <sup>aAB</sup>
PIDA	caprino	83,3 <sup>aA</sup>	61,2 <sup>aB</sup>	49,1 <sup>aB</sup>	55,1 <sup>aB</sup>
	ovino	89,8 <sup>aA</sup>	58,8 <sup>aB</sup>	44,1 <sup>aC</sup>	62,1 <sup>aB</sup>

Transição chuva/seca - TCS; Transição seca/chuva - TSC. Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na linha (períodos), e minúsculas na coluna (espécies), indicam diferença pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ).

Já entre os períodos, para ambas as espécies, os teores de FDN não foram diferentes ( $P>0,05$ ). Observa-se que houve uma pequena variação de FDN na dieta, com valores de 687,1 a 716,3 g/kg para os caprinos e 652,1 a 663,1 g/kg para os ovinos (Tabela 2). A alta seletividade dos caprinos e ovinos pode justificar essa baixa variação dos teores de FDN. Os maiores valores de FDN podem estar relacionados ao maior grau de maturação das plantas da caatinga, o que aumenta a concentração de carboidratos fibrosos (Araújo Filho et al., 2002).

As concentrações de FDA foram diferentes entre as espécies ( $P<0,05$ ) apenas no período de TSC. Quando comparado entre os períodos, os maiores teores de FDA foram encontrados na época seca e TCS para ambas as espécies (Tabela 2). Santos et al. (2009) avaliaram a composição química da dieta de ovinos e observaram uma média de 46,11% de FDA nos meses de setembro e novembro e de 41,30% nos meses de março e maio. A maior

concentração de FDA nos períodos, seco e TCS estão relacionadas à maturidade das plantas, pois há um aumento de celulose e lignina com o avanço do ciclo, sendo estes os constituintes da FDA.

Ocorreu diferença nas concentrações de lignina entre as espécies ( $P < 0,05$ ), nos períodos, chuvoso e seco, com maiores concentrações nas dietas dos caprinos. Esse resultado pode ser consequência do hábito alimentar dos mesmos, os quais preferem brotos de árvores e arbustos, as quais se caracterizam por apresentar maiores concentrações de lignina. Quando comparado entre os períodos, os menores teores foram encontrados no período de TSC para ambas as espécies ( $P < 0,05$ ). Pfister e Malechek (1986) observaram menores concentrações de lignina na dieta de ovinos em relação aos caprinos, enfatizando que o maior conteúdo de arbustos na dieta dos caprinos pode ter aumentado os valores de lignina, uma vez que há maior concentração de lignina em arbustos comparada ao material herbáceo.

Não houve efeito ( $P > 0,05$ ) entre as espécies para às concentrações de PIDN e PIDA, no entanto, entre os períodos, observou-se maior concentração de PIDN nos períodos, chuvoso e transições, para ambas as espécies ( $P < 0,05$ ). Em relação à PIDA, a maior concentração foi no período chuvoso, para ambas as espécies ( $P < 0,05$ ). Observa-se que estes resultados podem estar relacionados com as concentrações de taninos presentes na dieta dos mesmos, o que pode ter deixado a proteína indisponível ao animal. Os taninos condensados podem interferir no metabolismo animal, uma vez que se ligam a proteína proporcionando proteção contra a degradação dos microrganismos ruminais (Piluzza et al., 2014).

Observa-se que o hábito alimentar das duas espécies, associadas a distribuição das chuvas ao longo do ano, a qual tem efeito na disponibilidade e qualidade da forragem afeta a composição da dieta dos animais em pastejo, com consequência no desempenho do animal.

Na Tabela 3 está descrita as médias referentes ao peso corporal (PC) e aos consumos de matéria seca (CMS), consumo de matéria seca por unidade de tamanho metabólico ( $CMS^{0,75}$ ), consumo de matéria seca por percentual de peso vivo (CMSPV), consumo de matéria orgânica (CMO), consumo de proteína bruta (CPB) consumo de extrato etéreo (CEE), consumo de fibra em detergente neutro (CFDN) e consumo de fibra em detergente ácido (CFDA) de caprinos e ovinos em pasto de caatinga.

O peso corporal não foi diferente entre as espécies e períodos avaliados ( $P > 0,05$ ). Observa-se que apesar da ausência de efeito sob o PC ( $P > 0,05$ ), os maiores peso vivo foram encontrados no período seco para os caprinos e TCS para os ovinos. Esse aumento no PC nestes períodos pode estar relacionado a uma resposta de desempenho referente aos meses anteriores, os quais apresentavam maiores massas de forragem. Observa-se que após o



período seco, os caprinos perderam peso e os ovinos logo após a TCS, mostrando que as respostas relacionadas à baixa disponibilidade de massa de forragem e o valor nutricional do pasto tiveram reflexos mais rápidos nos ovinos.

Tabela 3 - Peso corporal (PC), consumo de matéria seca (CMS), consumo de matéria seca por unidade de tamanho metabólico ( $CMS^{0,75}$ ), consumo de matéria seca por percentual de peso vivo (CMSPV), consumo de matéria orgânica (CMO) e dos nutrientes por pequenos ruminantes pastejando na caatinga, em diferentes períodos do ano.

Parâmetros	Espécies	Períodos			
		Chuvoso	TCS	Seco	TSC
Peso corporal (kg)	Caprinos	37,72 <sup>aA</sup>	46,80 <sup>aA</sup>	52,25 <sup>aA</sup>	42,74 <sup>aA</sup>
	Ovinos	35,20 <sup>aA</sup>	39,12 <sup>aA</sup>	37,24 <sup>aA</sup>	37,88 <sup>aA</sup>
CMS	Caprinos	338,96 <sup>aB</sup>	547,24 <sup>aAB</sup>	282,56 <sup>aB</sup>	656,94 <sup>aA</sup>
	Ovinos	504,39 <sup>aA</sup>	384,14 <sup>aA</sup>	411,10 <sup>aA</sup>	317,42 <sup>bA</sup>
$CMS^{0,75}$	Caprinos	21,86 <sup>aB</sup>	31,72 <sup>aAB</sup>	15,04 <sup>aB</sup>	42,08 <sup>aA</sup>
	Ovinos	34,86 <sup>aA</sup>	25,57 <sup>aA</sup>	26,96 <sup>aA</sup>	20,71 <sup>aA</sup>
CMSPV (%)	Caprinos	0,88 <sup>aAB</sup>	1,25 <sup>aAB</sup>	0,57 <sup>aB</sup>	1,70 <sup>aA</sup>
	Ovinos	1,44 <sup>aA</sup>	1,04 <sup>aA</sup>	1,09 <sup>aA</sup>	0,83 <sup>bA</sup>
CMO	Caprinos	296,12 <sup>aB</sup>	469,19 <sup>aAB</sup>	248,70 <sup>aB</sup>	577,61 <sup>aA</sup>
	Ovinos	427,82 <sup>aA</sup>	329,54 <sup>aA</sup>	360,18 <sup>aA</sup>	282,58 <sup>bA</sup>
CPB	Caprinos	83,00 <sup>aAB</sup>	99,36 <sup>aAB</sup>	36,00 <sup>aB</sup>	113,68 <sup>aA</sup>
	Ovinos	123,95 <sup>aA</sup>	66,88 <sup>aAB</sup>	52,48 <sup>aB</sup>	63,40 <sup>aAB</sup>
CEE	Caprinos	15,80 <sup>aA</sup>	26,42 <sup>aA</sup>	11,91 <sup>aA</sup>	27,57 <sup>aA</sup>
	Ovinos	20,02 <sup>aA</sup>	15,24 <sup>aA</sup>	19,33 <sup>aA</sup>	12,28 <sup>aA</sup>
CFDN	Caprinos	233,41 <sup>aB</sup>	382,18 <sup>aAB</sup>	203,74 <sup>aB</sup>	451,71 <sup>aA</sup>
	Ovinos	328,38 <sup>aA</sup>	255,54 <sup>aA</sup>	273,24 <sup>aA</sup>	210,10 <sup>bA</sup>
CFDA	Caprinos	155,61 <sup>aB</sup>	294,75 <sup>aAB</sup>	151,17 <sup>aB</sup>	319,76 <sup>aA</sup>
	Ovinos	230,17 <sup>aA</sup>	201,36 <sup>aA</sup>	215,66 <sup>aA</sup>	146,53 <sup>bA</sup>

Transição chuva/seca - TCS; Transição seca/chuva - TSC. Consumos expressos em g/kg; Consumo de proteína bruta (CPB), consumo de extrato etéreo (CEE), consumo de fibra em detergente neutro (CFDN) e consumo de fibra em detergente ácido (CFDA). Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na linha (períodos), e minúsculas na coluna (espécies), indicam diferença pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ).

Não houve efeito sobre o CMS,  $CMS^{0,75}$  e CMSPV entre caprinos e ovinos ( $P>0,05$ ), exceto para CMS e CMSPV no período de TSC ( $P<0,05$ ). Entre os períodos, para a espécie caprina o maior consumo foi observado nos períodos de transições, enquanto para os ovinos não houve diferença ( $P>0,05$ ).

Observa-se que apesar de não ocorrer diferença no CMS para os ovinos ( $P>0,05$ ), o maior consumo foi observado no período chuvoso, enquanto para os caprinos foi nos períodos de transições (Tabela 3). Os maiores consumos observados nestes períodos podem ter ocorrido por uma adaptação dos caprinos em relação às condições da disponibilidade e qualidade do pasto, aumentando o consumo para compensar o menor valor nutricional do pasto, e assim atender suas exigências nutricionais. Araújo (2015) trabalhou com ovinos na

caatinga e observou maiores consumos nos períodos de transições, seguidos pelo período chuvoso.

No período seco, registrou-se um menor consumo para os caprinos, que pode ser ocasionado por uma menor disponibilidade de forragem, limitação física (maior concentração de carboidratos fibrosos) ou maiores temperaturas registradas no período seco, o que impossibilitou o aumento de consumo para atender suas exigências nutricionais. Observou neste período um maior consumo de serapilheira, sendo esta rica em folhas de árvores e arbustos, e por apresentar maiores concentrações de lignina pode ter limitado o processo de degradação. O menor tempo de pastejo também foi observado na espécie caprina, onde estes nos horários mais quentes do dia procuravam sombras nas árvores. Poli et al. (2008) ressaltaram que animais sujeitos ao estresse por calor, reduzem a ingestão e mudam seu comportamento de pastejo, evitando pastear nos horários mais quentes do dia.

Van Soest (1987) ressalta que a determinação do CMS por animais a pasto envolve várias inter-relações, tais como a disponibilidade da massa de forragem, a morfologia e os valores nutricionais das plantas, a preferência animal e o tempo de pastejo. Os teores de lignina também foram maiores na época chuvosa e período seco para os caprinos, o que coincide com as menores médias de consumo também nesses períodos. O teor lignina pode interferir na digestibilidade das plantas e consequentemente no consumo (Alves et al., 2011).

Entretanto, os ovinos apresentaram uma média de consumo mais alta que os caprinos na época seca, provavelmente por ingerir maiores quantidade de gramíneas em sua dieta, que no geral possuem maiores digestibilidades quando comparadas aos brotos de árvores e arbustos. Os teores de FDN podem estar associados ao enchimento e assim interferir no consumo. Na Tabela 2 observa-se que os teores de FDN das extrusas dos caprinos foram maiores que os ovinos, em todos os períodos avaliados. A FDN é considerada o principal constituinte da dieta associada ao efeito de enchimento (NRC, 2000). Somada a isso, a DIVMS e a DIVMO da dieta dos caprinos também foram mais baixas que os ovinos.

No período de TSC, o CMS e o CMSPV foram maiores para os caprinos em relação aos ovinos. Este comportamento observado pode ser explicado pela uma chuva atípica nesse período, o que ocasionou uma grande rebrota de árvores e arbustos, os quais são preferências alimentares dos caprinos. Os mesmos podem ter aumentado o consumo como uma forma de corrigir a baixa qualidade do pasto ainda com consequências do período seco. Os ruminantes podem alterar um ou mais componentes do seu comportamento ingestivo para superar as condições limitantes ao consumo e assim alcançar as quantidades de nutrientes necessárias (Forbes, 1988).

Quando os consumos foram expressos em unidade de tamanho metabólico ( $CMS^{0,75}$ ) observou o mesmo comportamento quando se avaliou o CMS. Já em relação ao  $CMS_{PV}$ , o menor consumo foi observado para o período seco na espécie caprina, enquanto para os ovinos não houve diferença ( $P>0,05$ ). Observa-se que de um modo geral, houve um baixo consumo de MS em ambas as espécies. Esses resultados podem ter ocorrido pela baixa digestibilidade das plantas da caatinga somados a limitação do próprio método de coleta para determinação do consumo. Conforme Kennedy e Murphy (1988), as forragens em geral da caatinga apresentam lenta taxa de passagem pelo trato gastrointestinal e baixa degradação da fibra, o que pode comprometer o consumo.

Houve efeito entre espécies para o CMO ( $P<0,05$ ) no período de TSC, enquanto entre os períodos, os maiores CMO para os caprinos foi na TSC, já para os ovinos não teve influência ( $P<0,05$ ). Os maiores consumos de MO para os caprinos nos períodos de transições estão relacionados ao maior CMS também nesse período, enquanto para os ovinos o menor CMO foi na TSC, o que coincide também com o menor CMS neste mesmo período para esta espécie. Pfister e Malechek (1986) ressaltaram que os maiores CMO observados entre os períodos avaliados estão relacionados à maior disponibilidade de forragem com consequente aumento no CMO. Silva (2009) observou maiores CMO para caprinos (437,47 g) em relação aos ovinos (331,78 g), associando este maior consumo, a capacidade dos caprinos em melhor aproveitamento da vegetação caatinga e maior flexibilidade alimentar quando comparados aos ovinos.

Não houve diferença do CPB entre as espécies ( $P>0,05$ ), já entre os períodos observaram-se maiores CPB nos períodos, chuvoso e transições ( $P<0,05$ ), enquanto o menor CPB foi na época seca para ambas as espécies (Tabela 3). A menor qualidade do pasto concomitante à chegada do período de escassez parece ter sido determinante para a diminuição do CPB no período seco para caprinos e ovinos. À medida que o processo de senescência avança há uma redução no valor nutricional do pasto (Decruyenaere et al., 2009), o que ocasionou um menor CPB nesse período. Já no período chuvoso, houve um maior CPB, em razão do maior valor nutricional do pasto, o que pode ser observado na Tabela 1, onde as maiores concentrações de PB nas extrusas de caprinos e ovinos foram registradas neste período.

Neste trabalho, os valores de PB variaram de 240,4 g/kg no período chuvoso para 126,6 g/kg no período seco para os caprinos e de 246,5 g/kg e 127,0 g/kg para ovinos (Tabela 1), nos mesmos períodos, o que confirma as maiores e menores ingestões de PB nos períodos citados acima. Pimentel et al. (1992) avaliaram o consumo de ovinos em pasto de caatinga e

verificaram consumos médios de 115,9 g de PB no período chuvoso e 68,2 g de PB no período seco. Costa (2016) verificou uma redução do CPB do início ao final do período avaliado, destacando o menor consumo em consequência das alterações do comportamento de pastejo aliada à baixa disponibilidade e qualidade nutricional da biomassa do pasto.

Já no período de TSC houve um aumento no consumo de PB para caprinos e ovinos, em razão provavelmente da recuperação do pasto em termos qualitativos, com o aparecimento de brotos de árvores e arbustos e do estrato herbáceo com maiores concentrações de PB.

Como discutido anteriormente, o teor de PB, muito citado como um parâmetro de qualidade da forragem da vegetação da caatinga, pelos níveis relativamente elevados, apresenta-se com uma parte muito significativa ligada à FDA e, por consequência, indisponível para os animais. Moreira et al. (2006) avaliaram a composição de diferentes espécies da caatinga no período chuvoso e observaram que a jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret) apesar de uma concentração de 16,88% de PB apresentou digestibilidade da matéria seca de 11,19% e digestibilidade da matéria orgânica de 11,72%. Santos et al. (2009) ressaltaram que os teores de proteína das plantas da caatinga são altos, porém tornam-se indisponíveis por estarem ligados a fibra em detergente ácido. Portanto, há necessidade de se avaliar o nitrogênio disponível para utilização pelos microrganismos e avançar nos estudos no que se refere ao fracionamento de carboidratos e proteínas.

O CEE não diferiu entre espécies e períodos ( $P>0,05$ ). Esse comportamento pode ser decorrente do baixo teor de EE das plantas da caatinga presentes na área, como foi relatado anteriormente na composição química das extrusas.

O CFDN e CFDA foram afetados pela espécie e períodos ( $P<0,05$ ), com maiores consumos de FDN e FDA para os caprinos no período de TSC em relação aos ovinos. Entre os períodos, os maiores consumos de FDN e FDA foram nas transições para os caprinos, enquanto para os ovinos não houve diferença ( $P>0,05$ ). Os maiores consumos de FDN e FDA nos períodos de transições podem estar relacionados com os maiores CMS também nestes períodos. Araújo (2015) corrobora com essa afirmação quando enfatiza que apesar do maior teor de FDN no pasto na época seca, foram registrados menores CFDN para o mesmo período, relatando que isso pode ter ocorrido pela menor ingestão de MS. Soares (2012) observou um maior CFDN para caprinos em relação aos ovinos, porém o mesmo enfatiza que apesar dos caprinos consumirem altos teores de FDN, os mesmos têm a capacidade de selecionar a parte da planta com menor concentração de lignina.

## CONCLUSÕES

A qualidade da dieta de caprinos e ovinos é afetada pelo período avaliado, a qual possui reflexo no consumo de nutrientes e na digestibilidade.

O consumo de matéria seca influencia o consumo dos demais nutrientes em ambas as espécies, caprinos e ovinos, e períodos.

A digestibilidade *in vitro* da matéria seca e digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica da dieta dos ovinos é superior aos caprinos, porém ambas as espécies conseguem manter o peso corporal.

Os altos teores de proteína bruta na dieta de caprinos e ovinos na época chuvosa estão ligados em parte à fração da fibra em detergente ácido, deixando a mesma indisponível para o animal.

Os resultados dessa pesquisa denotam a necessidade de um maior estudo acerca do fracionamento de carboidratos e proteínas das plantas da caatinga, de forma a dar subsídios sob a real disponibilidade de nitrogênio e energia aos microrganismos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, A. R. et al. Consumo e digestibilidade do feno de sabiá por ovinos e caprinos suplementados com polietileno glicol. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 152-157, 2011.
- AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). **Official methods of analysis**. 15. ed. Washington: AOAC, 1990.
- ARAÚJO, A. R. **Composição botânica e qualidade do pasto selecionado por ovelhas em caatinga raleada e enriquecida**. 2015. 124 f. Tese (Doutorado em Zootecnia), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 2015.
- ARAÚJO FILHO, J. A.; CARVALHO, F. C.; SILVA, N. L. Fenología y valor nutritivo de follajes de algunas especies forrajeras de la Caatinga. **Agroforestería em las Américas**, v. 9, n. 33-34, p. 33-37, 2002.
- BATISTA, A. M. V.; MATTOS, C. W. **Aspectos nutricionais de pequenos ruminantes no semiárido**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE RECURSOS GENÉTICOS, 2004, Recife. **Anais...** Recife, 2004. p. 75-82.
- BRODERICK, G. A.; WALLACE, R. J.; ØRSKOV, E. R. Control of rate and extent of protein degradation. In: TSUDA, T., SASAKI, Y., KAWASHIMA, R. (Ed.) **Physiological aspects of digestion and metabolism in ruminants**. New York, Academic Press, 1991. p. 542-592.
- CARVALHO JÚNIOR, A. M. et al. Effect of supplementation on the performance of F1 crossbred goats finished in native pasture. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 2510-2517, 2011.
- CEARÁ. Secretaria de Planejamento e Gestão Seplag. **Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - Ipece**, 2016. Fortaleza, 2016. Disponível em: <[http://www.ipece.ce.gov.br/perfil\\_basico\\_municipal/2016/Independencia.pdf](http://www.ipece.ce.gov.br/perfil_basico_municipal/2016/Independencia.pdf)>. Acesso em: 19 abr. 2017.
- COATES, D. B.; DIXON, R. M. Developing robust faecal near infrared spectroscopy calibrations to predict diet dry matter digestibility in cattle consuming tropical forages. **Journal of near infrared spectroscopy**, v. 19, p. 507-519, 2011.
- COSTA, H. H. A. **Caracterização florística da pastagem nativa da Caatinga e efeitos de aditivos sobre o consumo, emissão de metano e desempenho de ovinos**. 2016. 109 f. Tese (Doutorado em Zootecnia), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 2016.
- DECRUYENAERE, V.; BULDGEN, A.; STILMANT, D. Factors affecting intake by grazing ruminants and related quantification methods: a review. **Biotechnologie, Agronomie, Société and Environnement**, v. 13, n. 4, p. 559-573, 2009.
- FEITOSA, F. L. F. **Semiologia Veterinária**. 2. ed., São Paulo: Roca, 2008.

FIRESTONE, D. (Ed.). **Official methods and recommended practices of the AOCS**. 6th. ed. 3rd print. Urbana, Ill.: AOCS, 2009.

FORBES, T. D. A. Researching the plant-animal interface: the investigation of ingestive behavior in grazing animals. **Journal of Animal Science**, v. 66, p. 2369-2379, 1988.

FORMIGA, L. D. A. S. et al. Valor nutritivo da vegetação herbácea de caatinga enriquecida e pastejada por ovinos e caprinos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 12, n. 2, p. 403-415, 2011.

KENNEDY, P. M., MURPHY, M. R. The nutritional implications of differential passage of particles through the ruminant alimentary tract. **Nutritional Research**, v. 1, n. 1, p. 189-208, 1988.

LEITE, E. R.; CÉSAR, M. F.; ARAÚJO FILHO, J. A. Efeitos do melhoramento da Caatinga sobre os balanços proteico e energético na dieta de ovinos. **Ciência Animal**, v. 12, n. 1, p. 67-73, 2002.

MOREIRA, J. N. et al. Caracterização da vegetação de caatinga e da dieta de novilhos no Sertão de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 11, p. 1643-1651, 2006.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of beef cattle**. 8. ed. Washington, D.C.: 2000. 234 p.

NUNES, A. T. et al. Plants used to feed ruminants in semi-arid Brazil: A study of nutritional composition guided by local ecological knowledge. **Journal of Arid Environments**, v. 135, p. 96-103, 2016.

OLSON, K. C. Diet sample collection by esophageal fistula and rumen evacuation techniques. **Journal of Range Management**, v. 44, n. 5, p. 515-519, 1991.

PARENTE, H. N. et al. Evolução do estrato herbáceo em área de caatinga sob pastejo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 3, n. 2, p. 39-44, 2013.

PFISTER, J. A.; MALECHEK, J. C. The voluntary forage intake and nutrition of goats and sheep in the semi-arid tropics of Northeastern Brazil. **Journal of Animal Science**, v. 63, p. 1078-1086, 1986.

PIMENTEL, J. C. M. et al. Composição química e DIVMO da dieta de ovinos em área de caatinga raleada no sertão centro-norte do Ceará. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 21, n. 2, p. 224-232, 1992.

PILUZZA, G.; SULAS, L.; BULLITTA, S. Tannins in forage plants and their role in animal husbandry and environmental sustainability: a review. **Grass and Forage Science**, v. 69, n. 1, p. 32-48, 2014.

PRIGGE, E. C. et al. Comparison of ytterbium chloride and chromium sesquioxide as fecal indicators. **Journal of Animal Science**, v. 53, n. 6, p. 1629-1633, 1981.

POLI, C. H. E. C. et al. **Sistemas de criação de ovinos nos ambientes ecológicos do Sul do Rio Grande do Sul**. Embrapa Pecuária Sul, versão eletrônica. 2008. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Ovinos/CriacaoOvinosAmbientesEcologicosSulRioGrandeSul/alimentacao.htm>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

SANTANA, D. F. Y. et al. Caracterização da caatinga e da dieta de novilhos fistulados, na época chuvosa, no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 1, p. 69-78, 2011.

SANTOS, G. R. A. et al. Composição química e degradabilidade *in situ* da ração em ovinos em área de caatinga no sertão de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 2, p. 384-391, 2009.

SENGER, C. C. D. et. al. Evaluation of autoclave procedures for fibre analysis in forage and concentrate feedstuffs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 146, p. 169-174, 2008.

SILVA, L. D. A. **Ovinos e caprinos terminados em Caatinga raleada e enriquecida com capim-buffel**. 2009. 87 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal de Campina Grande, Patos – PB, 2009.

SILVA, D. S. et al. Bromatologic composition of the herbaceous species of the Northeastern Brazil Caatinga. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 4, p. 756-764, 2011.

SOARES, R. F. **Ovinos e Caprinos Terminados em Caatinga Enriquecida: 1. Efeito do Pastejo na Vegetação Herbácea; 2. Efeito da Suplementação no Desempenho Animal**. 2012. 67 f. Dissertação (Mestre em Zootecnia), Universidade Federal de Campina Grande, Patos - PB, 2012.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. **User's guide**. Cary: SAS Institute, 2002. 525 p.

TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. **Journal of British Grassland Society**, v. 18, n. 2, p. 104-111, 1963.

VAN SOEST, P. J. Interaction of feeding behavior and forage composition. In: International Conference on Goats, 4., 1987. **Proceedings...** Brasília: EMBRAPA, 1987. p. 971-987.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. Ed., Ithaca, New York (USA): Cornell University Press, 1994. 476 p.

WILSON, A. D. A review of browse in the nutrition of grazing animals. **Journal Range Management**, v. 22, n. 1, 1969.



## **CAPÍTULO 4**

---

Monitoramento da Nutrição de Pequenos Ruminantes na Caatinga Cearense,  
Utilizando a Espectroscopia NIR

## RESUMO

Objetivou-se com este estudo desenvolver modelos de predição para o monitoramento nutricional de pequenos ruminantes criados em pastagem de caatinga, através da técnica do infravermelho próximo, bem como avaliar o efeito do tipo de equipamento NIR e o pré-processamento das amostras. Para fornecer os dados da calibração e desenvolvimentos dos modelos de predição da qualidade da dieta de caprinos e ovinos foram coletadas pares de extrusas e fezes de caprinos e ovinos em pasto de caatinga, em uma área de 35 hectares por um período de maio de 2014 a abril de 2015. As amostras de fezes foram coletadas utilizando bolsas coletoras, coletadas duas vezes ao dia (manhã e tarde) para posterior amostragem dos dois períodos. No desenvolvimento dos modelos foram usados os teores de proteína bruta (PB) e digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO) das amostras de extrusas, como amostras referência e os espectros das amostras de fezes, como variáveis independentes. Os modelos de calibração multivariada foram desenvolvidos pela regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS) com amostras de fezes em diferentes processamentos (frescas, secas sem moer e secas moídas) e o uso de dois equipamentos NIR. Os melhores desempenhos dos modelos foram para o parâmetro de PB em relação à DIVMO, independentemente do modelo construído para amostras compostas ou individuais e ainda o tipo de processamento da amostra. Os modelos com amostras compostas foram superiores aos modelos com amostras individuais, pois retirou a instabilidade diária causada pela seletividade dos animais. Os usos da análise exploratória juntamente com os modelos de classificação pela SIMCA mostraram que as amostras de caprinos se assemelham as de ovinos, por isso justifica o desenvolvimento de um único modelo para ambas às espécies. A utilização de tratamentos matemáticos foi variável conforme o parâmetro analisado, no entanto, a proteína apresentou melhores desempenhos quando comparados com a digestibilidade, independente do tipo de tratamento matemático utilizado. A ferramenta de seleção de comprimentos de ondas mais importantes associada à retirada de *outliers* aumentou a capacidade de predição dos modelos. Os modelos com amostras de fezes secas moídas foram melhores que as amostras frescas e secas sem moer, mostrando que os procedimentos de secagem e moagem podem melhorar o desempenho dos modelos. Assim, a técnica NIRS mostrou que pode ser utilizada como ferramenta para o monitoramento da dieta de pequenos ruminantes em pastagem de caatinga.

**Palavras-chave:** análise multivariada, conteúdo de nitrogênio, digestibilidade, quimiometria

## ABSTRACT

The objective of this study was to develop predictive models for the nutritional monitoring of small ruminants in caatinga rangeland, using the near infrared technique, as well as to evaluate the effect of the NIR type and the pre-processing of the samples. In order to provide the data of the calibration and development of prediction models of goat and sheep diet quality pairs of extrusas and feces of goats and sheep were collected in caatinga rangeland in an area of 35 hectares for a period of may 2014 to april 2015. Feces's samples were collected using collection bags, collected twice a day (morning and afternoon) for subsequent sampling of the two periods. In the development of the models, crude protein (CP) and *in vitro* digestibility of organic matter (IVDMO) of the extrusas samples were used as reference samples and the feces samples spectras as independents variables. The multivariate calibration models were developed by the regression by Partial Least Squares (PLS) with samples of feces in different processes (fresh, dry without grinding and dry ground) and the use of two NIR equipments. The best performances of the models were for the CP parameter in relation to the IVDMO, regardless of the model constructed for composite or individual samples and also the type of sample processing. The models with composite samples were superior to the models with individual samples, since it removed the daily instability caused by the selectivity of the animals. The use of the exploratory analysis together with the SIMCA classification models showed that the goat samples resemble those of sheep, so it justifies the development of a single model for both species. The use of mathematical treatments was variable according to the parameter analyzed, however, the protein presented better performance when compared to the digestibility, regardless of the type of mathematical treatment used. The most important wavelength selection tool associated with the removal of outliers has increased the prediction capability of the models. The models with ground dry feces samples were better than the fresh and dry samples without grinding, showing that the drying and grinding procedures can improve the performance of the models. Thus, the NIRS technique showed that it can be used as a tool to monitor the diet of small ruminants in caatinga rangeland.

**Key words:** chemometrics, digestibility, multivariate analysis, nitrogen content

## INTRODUÇÃO

O valor nutricional da forragem possui um papel importante no desempenho de ruminantes criados em sistemas a pasto, sendo um dos componentes avaliados no momento da implantação de um sistema de produção de animais em pastejo.

Na região Semiárida, a exploração pecuária é basicamente extensiva e tem como principal fonte de alimento, o pasto nativo de caatinga. A região caracteriza-se por uma precipitação média de 800 mm, distribuída em quatro meses, com a produção animal limitada à estacionalidade da oferta qualitativa e quantitativa de recursos forrageiros. Assim, animais que dependem exclusivamente do pasto podem ter limitações de alguns nutrientes, em determinados períodos, exigindo uma suplementação alimentar.

A determinação da qualidade da dieta de animais a pasto tem se tornado um desafio. Estimativas da qualidade da dieta pela coleta de forragem cortada rente ao solo pode subestimar a qualidade da dieta selecionada pelos animais, enquanto animais fistulados no esôfago ou rúmen podem não representar a dieta selecionada. Esta diferença da composição da dieta pode ser ocasionada pelo tempo reduzido de pastejo, comportamento diferente dos animais intactos (Jones e Lascano, 1992), diferenças nas estimativas dos nutrientes pela contaminação da saliva (Holechek et al., 1982), além das questões éticas e de bem estar animal.

O uso da informação química contida nas fezes pode ser uma alternativa para avaliar a qualidade da dieta dos animais em pastejo, uma vez que esta pode ser relacionada com a dieta consumida e a digestibilidade (Landau et al., 2016). A utilização da composição química das fezes para avaliar a dieta de animais em pastejo intensificou-se com o uso da técnica da Espectroscopia de Reflectância do Infravermelho Próximo (NIRS) associada ao uso da quimiometria. A hipótese consiste na relação da composição das fezes, nas quais se encontram perdas endógenas, tecidos microbianos e resíduos indigestíveis provenientes do processo de fermentação com o valor nutricional da dieta, sendo capaz de detectar similaridade entre estas amostras (Schiborra et al., 2015).

Portanto, com a avaliação da qualidade da dieta podem-se identificar quais nutrientes são limitantes, e em qual nível, para que se possam estabelecer estratégias de suplementação alimentar, permitindo um diagnóstico rápido, preciso e exato. Na Universidade da Texas A&M, nos Estados Unidos, vem sendo utilizado o *software* NUTBAL - *Nutritional Balance Analyzer* juntamente com o método NIRS fecal, como suporte a suplementação de animais em vários sistemas de produção de animais em pastejo (Sheehy et al., 2012). Na Austrália

também há um serviço de assessoria comercial que utiliza a técnica NIRS para prever a qualidade da dieta e fazer recomendações de quais suplementos utilizarem.

Estudos mostram o potencial da técnica NIRS fecal para prever a composição da dieta de diferentes espécies, abrangendo diversos locais (Decruyenaere et al., 2012; Russel et al., 2012; Althaus et al., 2013; Decruyenaere et al., 2013; Gálvez-Cerón et al., 2013; Tolleson e Schafer, 2014; Kneebone e Dryden, 2015; Landau et al., 2016; Ottavian et al., 2015; Tellado et al., 2015; Gindri, 2016; Núñez-Sánchez et al., 2016; Jancewicz et al., 2017; Johnson et al., 2017). Embora bastante difundida no mundo, poucos trabalhos foram desenvolvidos no Brasil para adaptá-la às condições tropicais, especialmente para avaliação da dieta de animais em pastagens nativas. Por outro lado, vale mencionar que é necessário verificar as interferências na obtenção dos espectros, pois as diferenças de granulometria, preparação das amostras, teor de umidade (Burns e Ciurczak, 2008), resolução do espectrômetro e eficiência do detector a diferentes comprimentos de ondas (Murray e Williams, 1987) podem interferir na leitura dos espectros.

Dessa forma, objetivou-se com este trabalho desenvolver modelos de predição para o monitoramento nutricional de pequenos ruminantes, criados em pastagem de caatinga, através da técnica do infravermelho próximo, bem como avaliar o efeito do tipo de equipamento NIR e o pré-processamento das amostras no desenvolvimento dos modelos.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Descrição do local e desenho experimental**

O experimento foi conduzido na fazenda da Escola Família Agrícola Dom Fragoso, localizada na comunidade de Santa Cruz (5° 23' 53" de latitude sul, 40° 18' 38" de longitude oeste, com altitude média de 351 m), situada a 14 km da sede do município de Independência, Ceará. O clima é caracterizado como tropical quente semiárido, com uma temperatura média variando de 26 a 28 °C, tendo como período chuvoso, principalmente os meses de fevereiro a abril (IPECE, 2016). A vegetação predominante na região é a caatinga arbustiva aberta e floresta caducifólia espinhosa, (IPECE, 2016).

Na Figura 1 estão apresentados os registros de precipitação pluvial da estação experimental, correspondente ao período de condução do experimento, somando 505,3 mm.

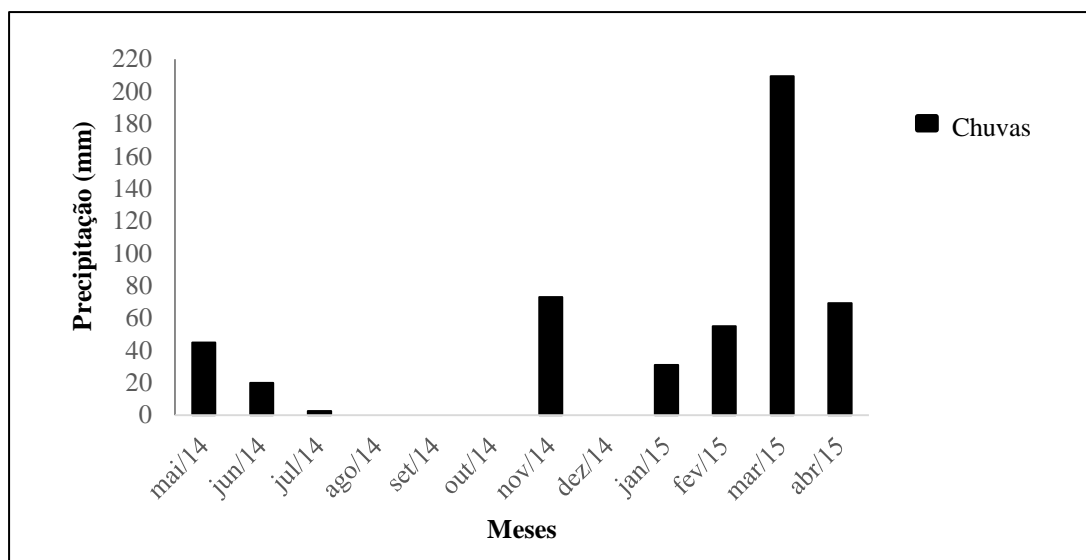


Figura 1 - Precipitação pluvial durante o período experimental, na EFA Dom Fragoso em Independência - CE

O uso dos animais utilizados no estudo, bem como os procedimentos os quais foram realizados nas coletas foram aprovados pelo Comitê de Ética em Experimentação Animal da Universidade Estadual Vale do Acaraú - CEUA/UVA (protocolo nº 032.12).

Os dados para serem utilizados nos procedimentos de calibração e desenvolvimento dos modelos de predição da qualidade da dieta de caprinos e ovinos foram coletados a partir de pares de extrusas e fezes de caprinos e ovinos em pastejo na caatinga, no período de maio de 2014 a abril de 2015, mensalmente, durante seis dias consecutivos, a fim de cobrir a variação da qualidade nutricional do pasto.

Os pares de extrusas/fezes foram compostos por meio de um desenho experimental, onde as amostras de extrusas do dia 1 foram correlacionadas com amostras de fezes do dia 2, e as amostras de extrusas do dia 2 com as fezes do dia 3, ou seja, com intervalo de 24 horas (Figura 2). Estas amostras foram utilizadas no desenvolvimento dos modelos para os parâmetros de proteína bruta (PB) e digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO), utilizando dois equipamentos NIR e três tipos de processamentos das amostras (frescas, secas sem moer e secas moídas).

Na determinação da composição bromatológica da dieta selecionada foram utilizados cinco caprinos e cinco ovinos fistulados no rúmen, com idade média de 3,5 anos e peso vivo médio de  $35,87 \pm 4,69$  kg e  $33,45 \pm 4,34$  kg, respectivamente. Os animais foram manejados em uma área de 35 hectares (ha) de pastagem nativa de caatinga, dividida em três piquetes, sendo 8,0 ha na primeira área e 13,5 ha na segunda e na terceira área. Os animais em pastejo receberam água e suplemento comercial Ovinofós e Caprinofós (de acordo com a espécie),

com minerais orgânicos (Tortuga) *ad libitum* durante todo o ano e no período seco foram suplementados com concentrado na base de 1% do peso vivo. Cinco dias antes das coletas, o suplemento com concentrado era suspenso, para que fosse possível avaliar apenas a dieta à base de forragem.

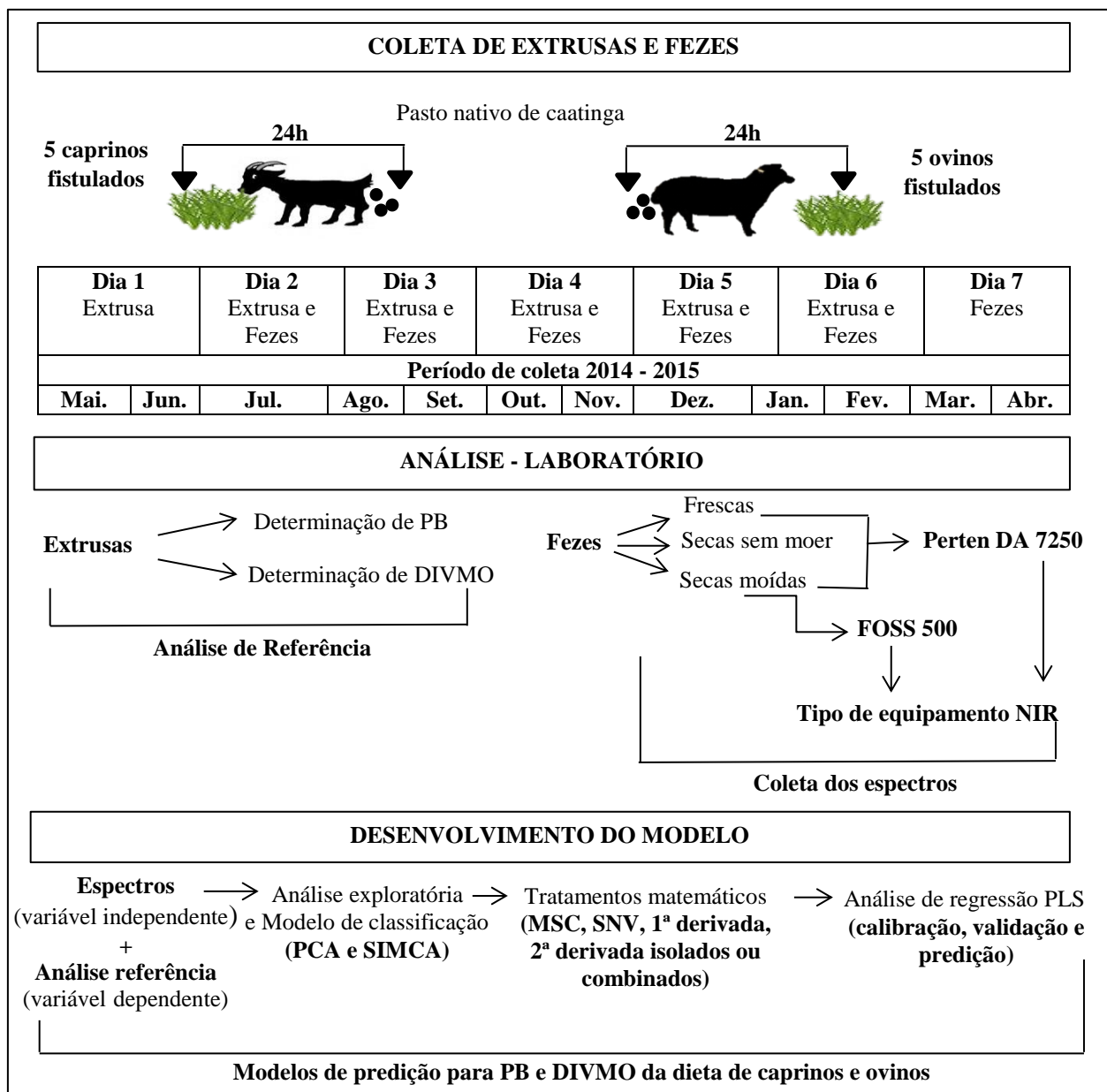


Figura 2 - Desenho experimental para o desenvolvimento dos modelos de PB e DIVMO pela técnica NIRS.

### **Caracterização da composição da dieta selecionada por pequenos ruminantes**

A coleta de extrusa para estimativa da composição da dieta de caprinos e ovinos foi realizada mensalmente, durante seis dias consecutivos, em todo o período experimental. Os animais passaram por jejum de aproximadamente 14 horas e, em seguida foi feita a evacuação ruminal, conforme metodologia descrita por Olson (1991), para posteriormente terem acesso à caatinga durante 40 minutos à 1 hora (dependendo da disponibilidade de forragem), sem acesso à água e sal mineral durante esse período.

Após o pastejo, o material da extrusa foi recolhido diretamente do rúmen, acondicionado em sacos de plásticos identificados e congelados para análises da composição bromatológica. Posteriormente a esse processo, o conteúdo ruminal inicialmente retirado foi devolvido para o rúmen. Para garantir que esse procedimento não causava efeito deletério sobre a microbiota ruminal foi feito o acompanhamento do potencial redox e potencial hidrogeniônico (pH) no início e após retornar o material novamente ao rúmen. A avaliação do potencial redox foi feita de acordo com a técnica descrita por Feitosa (2008), denominada tempo de redução do azul de metileno (TRAM) e para mensuração do pH foi utilizado um pHmetro portátil, previamente calibrado e introduzido no líquido ruminal coletado, sendo o valor aferido e anotado posteriormente.

A coleta das amostras fecais foi feita utilizando bolsas coletoras de fezes, as quais foram colocadas no primeiro dia de coleta e retiradas no último dia. As coletas de fezes foram feitas duas vezes por dia, às 7:00 e às 17:00 horas, representando a produção fecal de um período de 24 horas. Após a coleta, estas amostras foram acondicionadas em sacos de plásticos identificados, pesadas, separadas em duas frações, para que possam ter seu espectro coletado em dois tipos de equipamentos NIR, sob diferentes tipos de processamentos das amostras e congeladas em freezer para análises posteriores.

No total foram coletadas 711 amostras individuais de extrusas, utilizadas como amostras de referência e 711 amostras de fezes individuais para obtenção dos espectros, sendo 336 amostras de caprinos e 375 de ovinos, para ambas as amostras.

### **Determinação da composição bromatológica da dieta e coleta dos espectros**

As amostras de todo o período experimental foram levadas ao laboratório de análise de alimentos - LANA, da Embrapa Caprinos e Ovinos para determinação da composição bromatológica das extrusas e fezes. As amostras de extrusas e fezes foram pesadas, colocadas em estufa de circulação forçada de ar  $\pm 55$  °C até obter peso constante, para determinação da



matéria pré-seca. Em seguida foram moídas em moinho de faca do tipo *Wiley* com peneira de poros de um milímetro de diâmetro e armazenadas em recipientes plásticos para posteriores análises.

Nas amostras de extrusas e fezes foram determinados os teores de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), conforme a AOAC (1990). A matéria orgânica (MO) foi calculada como a diferença entre a MS e o teor da matéria mineral. A concentração de nitrogênio total (N) foi determinada em sistema de combustão (Leco FP-628, Leco Corp., St. Joseph, MI, EUA). Para conversão dos valores de N em PB foi utilizado o fator de correção 6,25.

A digestibilidade da matéria seca (DMS) e da matéria orgânica (DMO) das amostras de extrusas foi determinada por meio de ensaios de digestibilidade *in vitro* utilizando incubadora automática tipo MA443 (MA443, Marconi Equipamentos para Laboratórios Ltda., Piracicaba, SP, Brasil), conforme princípios da técnica de Tilley & Terry (1963). O líquido ruminal necessário para a avaliação foi coletado de animais pastejando em área de caatinga, tendo o pasto mais suplementação de sal mineral e água *ad libitum* como única fonte de alimentação. Após o período de incubação de 48 horas, os saquinhos contendo os resíduos da digestão foram lavados em água corrente e, em seguida, tratadas em solução de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), por 40 minutos a 110 °C em autoclave, conforme Senger et al. (2008) e por fim, incineração em mufla a 600 °C durante 3 horas (AOAC, 1990).

Os espectros das amostras de fezes frescas e secas sem moer foram coletados utilizando o equipamento NIR Perten® DA 7250, o qual faz uma leitura na faixa espectral de 950 a 1650 nm, com intervalo espectral de 5 nm. Já na obtenção dos espectros das amostras pré-secas e moídas foram utilizados dois modelos diferentes de aparelhos NIR, Perten® DA 7250 (PerkinElmer, Inc., USA), como descrito acima, e NIRS FOSS® 5000 (Foss NIR Systems Inc., Silver Spring, MD, USA), com leitura numa faixa de 1100 a 2500 nm na região do infravermelho próximo e resolução de 2 nm.

Antes das amostras de fezes serem escaneadas, todas as amostras secas foram colocadas novamente na estufa com circulação de ar forçada a  $\pm 55$  °C por três horas para estabilizar o teor da umidade (Lyons e Stuth, 1992) e quando removidas da estufa, foram colocadas em dessecador por 30 minutos para resfriar até a temperatura ambiente e em seguida colocadas em células próprias dos equipamentos e escaneadas para obter os espectros. Os espectros gerados foram arquivados em microcomputador acoplado ao NIR para uso na geração dos modelos de predição. A sala onde foi realizada a coleta dos espectros era mantida a temperatura de 24 °C e com umidade relativa do ar entre 55 e 65%, a fim de evitar possíveis interferências nas coletas dos espectros.

## Desenvolvimento dos modelos

O desenvolvimento dos modelos para os parâmetros de PB e DIVMO foram feitos considerando que as amostras de referência do dia 1 estão relacionadas com os espectros das amostras de fezes do dia 2, ou seja, com intervalos de 24 horas (Leite e Stuth, 1995), considerando o tempo de trânsito no trato gastrointestinal. Os valores de PB e DIVMO foram usados como variáveis dependentes e os espectros fecais correspondentes como variáveis independentes. Para desenvolver os modelos com as amostras compostas, foi feita uma média dos espectros individuais e das análises de referências por animal e período nos bancos de dados das amostras frescas, secas sem moer e secas moídas.

O desenvolvimento dos modelos foi feito utilizando o *software Unscrambler* versão 10.2 (Camo Inc, AS, Norway). Após a coleta dos espectros das amostras foi aplicado um pré-tratamento matemático para correção de espalhamento pela técnica de correção multiplicativa de sinal (MSC). Foi utilizada posteriormente a técnica multivariada de reconhecimento padrão não supervisionada, a análise de componentes principais (PCA), utilizada para a análise exploratória das amostras, a fim de avaliar a formação de agrupamentos (Lyra et al., 2010). Foi realizada a PCA para as categorias de espécies (caprinos e ovinos), períodos (chuvoso, transição chuva/seca - TCS, seco e transição seca/chuva - TSC), variação na qualidade de PB e DIVMO e tipo de processamento (fezes frescas - FF, fezes secas sem moer - FSSM, fezes secas moídas - FSM).

A partir da análise por PCA, em que se verificou a distinção de classes, foram construídos modelos PCA para os conjuntos de amostras separadas pelo tipo de espécie, período e processamento que serviram como padrão para a classificação utilizando a ferramenta *Soft Independent Modeling of Class Analogy* (SIMCA). Os modelos de classificação são baseados no cálculo da distância de cada amostra ao centro do modelo, identificando a qual classe ou grupo a amostra pertence, a um nível de significância de 95% (Balabin et al., 2010).

Após a análise exploratória dos dados e a construção dos modelos de classificação foi utilizada uma ferramenta de seleção do *software The Unscrambler®* para seleção de um subconjunto amostral para ser utilizado como banco de validação, as quais não participariam do desenvolvimento dos modelos de calibração. A ferramenta “*Evenly Distributed Samples*” seleciona amostras mais separadas no conjunto de dados, onde o número de amostras selecionadas para cada componente principal é especificado de acordo com o usuário. Nesse banco de dados especificou que 25% das amostras comporiam o conjunto de validação.

Para cada constituinte modelado das amostras secas moídas escaneadas em aparelho FOSS e as amostras com diferentes processamentos no Perten foram gerados modelos submetendo os espectros originais a diferentes pré-tratamentos matemáticos, isolados ou combinados, tais como, a MSC, variação normal padrão (SNV), transformação pela primeira ou segunda derivada associada ou não à *Savitzky-Golay* (Brown et al., 2000).

Os modelos de calibração multivariada foram desenvolvidos pela regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS). O número de fatores PLS foi determinado pela validação cruzada (*cross-validation*) procedimento “*leave-one-out*” (Geladi e Kowalski, 1986). Na validação independente foi utilizado o banco de dados separado inicialmente.

Após os modelos serem gerados para todos os pré-tratamentos utilizados foi selecionado os melhores modelos para cada parâmetro, dentro de cada banco de dados. Os desempenhos dos modelos desenvolvidos foram avaliados de acordo com a raiz quadrada do erro médio da calibração (RMSEC), validação cruzada (RMSECV) e predição (RMSEP), assim como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) dos valores previstos e de referência (Windham et al., 1989; Williams e Sobering, 1993; Williams, 2001) e o número de fatores utilizados na calibração como propõe Pasquini (2003). Altos valores de  $R^2$ , baixos erros médios (calibração, validação cruzada e predição) e um número adequado de fatores são indicativos de um bom modelo.

Outro parâmetro utilizado na avaliação do desempenho dos modelos foi a RPD (*Ratio of Performance to Deviation*), a qual representa a divisão entre o desvio padrão das análises de referência e o erro médio de previsão (Williams e Sobering, 1993). Os valores obtidos por essa relação são classificados em três categorias, segundo Chang et al., (2001): Classe A ( $RPD > 2,0$ ) - modelos excelentes, com  $R^2 > 0,8$ ; Classe B ( $RPD$  de 1,4 a 2,0) - modelos ajustados, com  $R^2$  variando entre 0,5 a 0,8 e Classe C ( $RPD < 1,4$ ) - modelos não confiáveis, com  $R^2 < 0,5$ .

Após selecionar os melhores modelos para cada parâmetro foi feita uma seleção dos comprimentos de ondas mais importantes para o desenvolvimento do modelo, específico para cada parâmetro analisado e removidas as amostras *outliers*, os quais foram indicados pelo *software Unscrambler* através da ferramenta *X-Y-outliers*. A seleção dos comprimentos de ondas foi feita a partir do peso dos coeficientes de regressão, onde estes foram selecionados como comprimentos de ondas significativos. Em seguida foram realizados novos modelos PLS e os mesmos foram avaliados seguindo os critérios citados acima. O objetivo principal da seleção dos comprimentos de ondas é facilitar o desenvolvimento de um sistema simples

baseado nessas variáveis (Feng et al., 2015) e assim relacionar os principais grupos químicos com o parâmetro analisado.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Modelos de amostras individuais e compostas em equipamento NIR Foss

Na Figura 3 são apresentados os espectros das 711 amostras individuais (a) e 119 amostras compostas (b) de fezes de caprinos e ovinos coletados em equipamento NIR FOSS 5000, com leitura numa faixa de 1100 a 2500 nm na região do infravermelho próximo, com intervalo espectral de 2 nm.

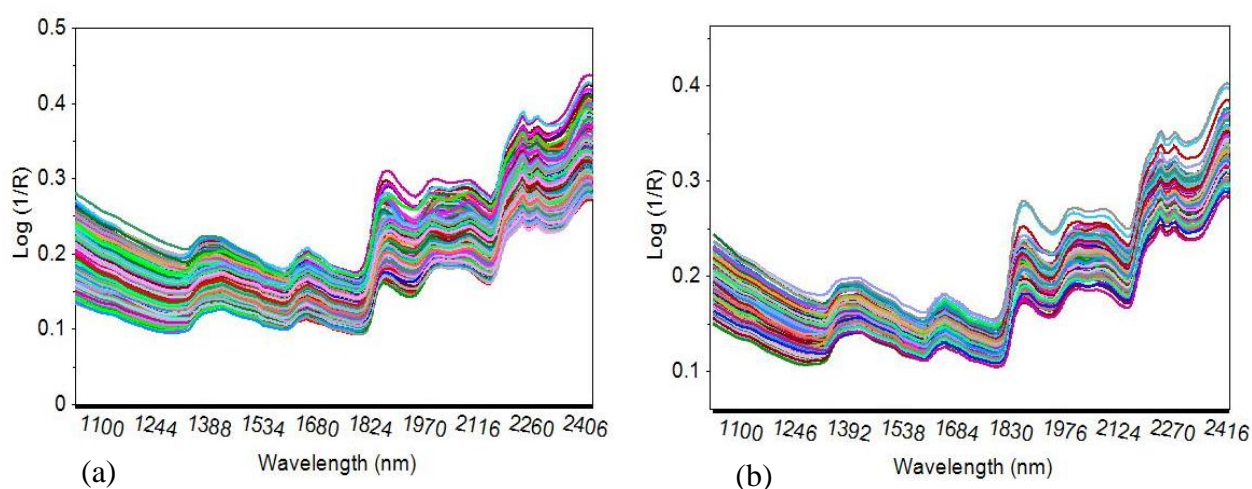


Figura 3 - Espectros brutos de 711 amostras individuais (a) e 119 amostras compostas (b) de fezes de caprinos e ovinos pastejando na caatinga, na região de 1100 a 2500 nm.

Como pode ser observado, tanto nas amostras individuais quanto nas amostras compostas ocorreu uma variação sistemática da linha de base ao longo da faixa espectral, provocados provavelmente pela não uniformidade das amostras, em razão das diferenças na granulometria das partículas. Os espectros gerados podem ser afetados pelo tipo de instrumentação utilizada, diferenças na granulometria, umidade das amostras e dispersão da luz (Siesler et al., 2002). Para corrigir estes efeitos de espalhamento da luz presentes nos espectros obtidos por reflectância ou efeitos de dispersão foi utilizado a MSC. Segundo Sabin et al. (2004) o pré-tratamento com MSC simplifica o modelo e melhora a linearidade do conjunto espectral, com redução das diferenças e destaque para as áreas que são responsáveis

pelas diferenças entre as amostras. Uma das justificativas da melhor linearidade com o uso da MSC é porque o número de variáveis necessárias para a construção do modelo é reduzido (Naes et al., 2002).

Na Figura 4 estão apresentados os espectros das 711 amostras individuais (a) e 119 amostras compostas (b) de fezes de caprinos e ovinos, pastejando em caatinga utilizando o pré-processamento com MSC.

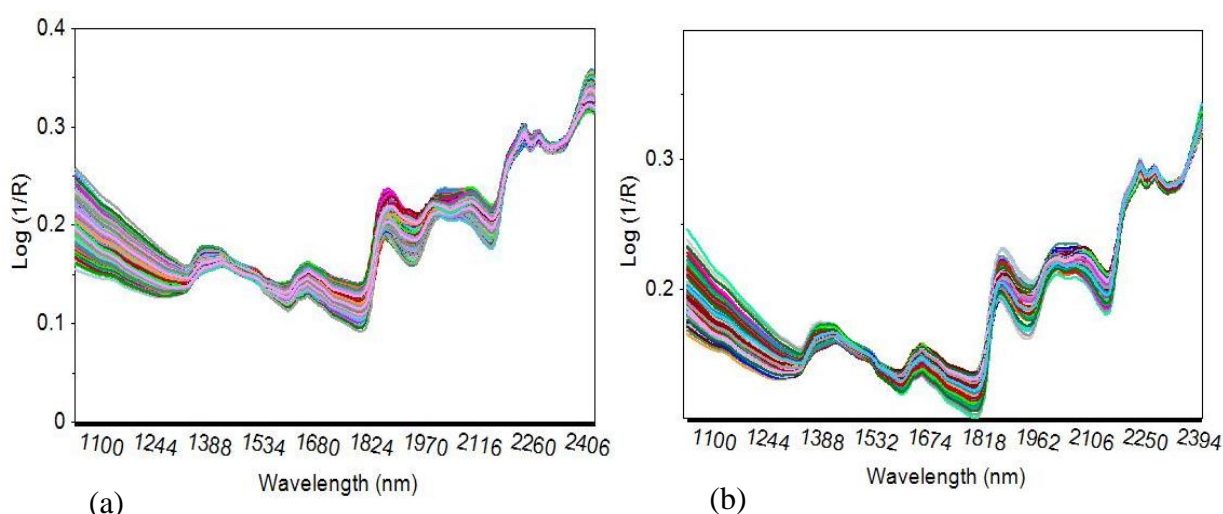


Figura 4 - Espectros de 711 amostras individuais (a) e 119 amostras compostas (b) de fezes de caprinos e ovinos pastejando na caatinga pré-processados com MSC.

Após o tratamento com a MSC pode-se observar que há semelhança no perfil espectral entre os dois conjuntos de amostras e a redução do espalhamento dos espectros. Verifica-se também a sobreposição dos espectros, o que pode indicar a semelhança de composição de grupos químicos nas amostras individuais e compostas. Segundo Johnson (2014) apenas com a observação visual dos espectros não tem como identificar grupos de amostras ou espectros fora de padrão, sendo necessária a análise de PCA para observar a distribuição das amostras.

Quando há um conjunto amostral com grande número de variáveis é necessário à identificação de quais destas pode-se obter informações relevantes, pois pode ocorrer variável com poucas informações significativas, as quais adicionam pouco ou nada à interpretação dos resultados, por isso a importância do uso da PCA nesta avaliação.

Na Figura 5, estão expostos os escores da primeira componente principal (PC-1) e da segunda componente principal (PC-2) das amostras individuais (a) e compostas (b) de caprinos e ovinos, pastejando na caatinga.

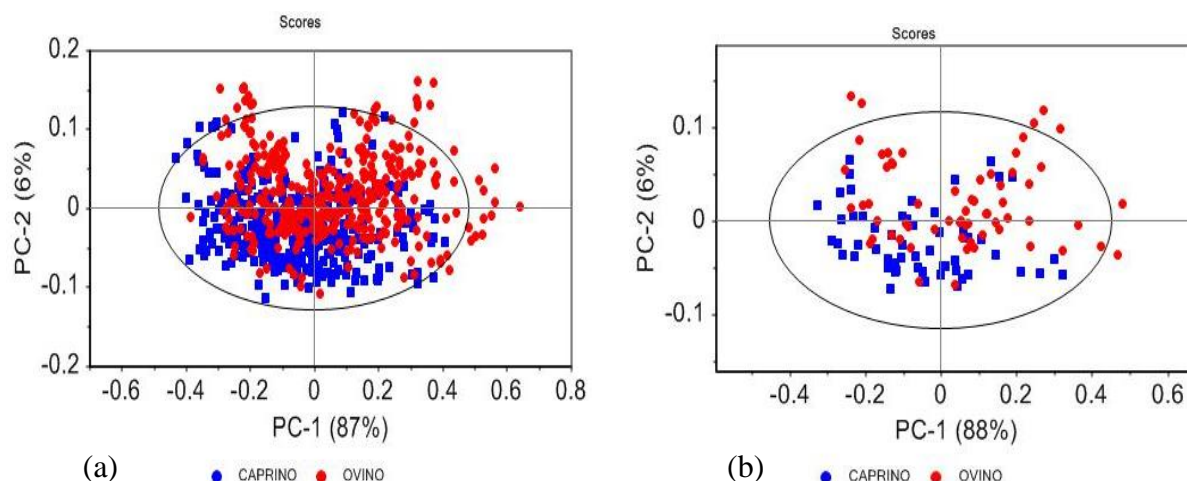


Figura 5 - Gráfico dos escores de PC-1 *versus* PC-2 das amostras individuais (a) e compostas (b) de fezes de caprinos e ovinos, pastejando na caatinga. A elipse representa as estatísticas de *Hotelling T*<sup>2</sup>, com 95% de probabilidade. As amostras do lado de fora da elipse têm a probabilidade maior que 95% de serem *outliers*.

Na análise de PCA, o percentual de cada componente principal (PC) representa a variância explicada de cada componente. Nas amostras individuais de fezes a PC-1 foi responsável por 87% da variância e a PC-2 por 6%, enquanto nas amostras compostas, a PC-1 explicou 88% da variância e a PC-2 6%. A partir da análise de PCA foi possível verificar que os dois primeiros PCs foram responsáveis por 93% das variações dos dados individuais e 94% da variância nas amostras compostas. Os métodos de análise exploratória são utilizados com o intuito de extrair informações e verificar tendências nos dados e a identificação de agrupamentos ou não entre as amostras (Souza e Poppi, 2011).

Pode-se verificar a sobreposição entre as amostras de caprinos e ovinos (Figura 5), indicando uma similaridade, com amostras de caprinos e ovinos distribuídas em todas as PCs. Algumas amostras, principalmente as de ovinos ficaram fora dos limites de *Hotelling*. A partir da análise de PCA optou-se pela não separação do banco amostral de amostras de caprinos e ovinos, uma vez que esta sobreposição dos grupos indica semelhanças entre a dieta dos caprinos e ovinos, o que possibilitou a realização da seleção no banco total de amostras disponíveis para a calibração.

Para se ter bons desempenhos nos modelos desenvolvidos, as análises de referências devem ser confiáveis. Para isso, na Tabela 1, encontra-se a estatística descritiva dos parâmetros avaliados, pela análise de referência nas amostras de extrusas de caprinos e ovinos, pastejando na caatinga.

Tabela 1 - Estatística descritiva dos parâmetros avaliados em amostras de extrusas de caprinos e ovinos, pastejando na caatinga.

Amostras	Nº	Média (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)	DP	CV (%)
<i>Individuais</i>						
PB	711	18,14	9,94	30,03	4,61	25,41
DIVMO	711	50,54	27,39	82,63	9,56	18,92
<i>Compostas</i>						
PB	87	18,11	11,44	27,68	4,22	23,30
DIVMO	87	50,98	34,06	75,47	8,25	16,18

Número de amostras - Nº; Desvio padrão - DP; Coeficiente de variação - CV; Proteína bruta - PB; Digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica - DIVMO;

Os resultados mostram a variação encontrada na composição da PB e DIVMO nas dietas selecionadas por caprinos e ovinos, em amostras individuais e compostas considerando todos os períodos (chuva, seca e transições). As análises de referência são responsáveis pela confiabilidade dos modelos desenvolvidos com a técnica NIRS, já que este é dependente da análise de referência.

Pode-se observar um alto coeficiente de variação entre os parâmetros avaliados, principalmente para a PB, variações estas decorrentes provavelmente das diferenças da distribuição das chuvas ao longo do ano, o que leva o melhor valor nutricional em determinados períodos e piores em outros. Verifica-se que nas amostras compostas o aumento do valor mínimo para o máximo foi de mais de 140% para PB e 122% para DIVMO. Quando se estende para as amostras individuais, essa variação é maior, chegando a ter mais de 200% de diferença, resultando assim, em alto CV. Estas variações foram observadas por Araújo Filho et al. (1996), os quais avaliaram a composição química da dieta de ovinos e caprinos em pastejo combinado, os quais observaram teores de 13,4, 8,5 e 16,5% de PB, nos períodos de transição de chuva-seca, seca e transição seca-chuva, respectivamente. Pereira Filho et al. (2013) em um compilado de dados verificaram diferenças químicas de algumas espécies dos componentes arbóreo e herbáceo (monocotiledôneas e dicotiledôneas), com valores máximos de PB de 9,14, 14,42 e 21,1% para as gramíneas, dicotiledôneas e arbóreas, respectivamente. Essa variação no valor nutricional do pasto deve ser inclusa no procedimento da calibração para que o modelo seja robusto e assim aumente a sua capacidade de predição.

Na Tabela 2 são apresentados os modelos de calibração, validação cruzada e validação externa utilizando a regressão PLS para estimar os valores de PB e DIVMO da dieta de caprinos e ovinos pastejando na caatinga, utilizando-se amostras individuais e compostas.

Tabela 2 - Modelos de calibração e validação utilizando a regressão PLS para proteína bruta (PB) e digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO) da dieta de caprinos e ovinos, pastejando na caatinga.

Modelos	Parâmetros de avaliação	Amostras Individuais		Amostras compostas	
		PB	DIVMO	PB	DIVMO
Calibração	Nº	709	704	119	115
	Pré-trat.	MSC	MSC	MSC	MSC
	Fator	8	9	10	10
	<i>Bias</i>	-3,32E-06	4,18E-06	5,46E-06	1,049E-05
	Correlação	0,86	0,71	0,96	0,91
	R <sup>2</sup>	0,75	0,50	0,93	0,83
	RMSEC	2,29	6,63	1,10	3,54
Validação	R <sup>2</sup>	0,74	0,48	0,90	0,71
	RMSECV	2,34	6,85	1,33	4,79
	RPD	1,97	1,40	3,16	1,72
Predição	Nº	240	238	28	30
	R <sup>2</sup>	0,78	0,44	0,89	0,56
	RMSEP	2,28	7,21	1,33	4,29

Número de amostras - Nº; Pré-tratamento das amostras - Pré-trat.; Erro sistemático (viés) - *Bias*; Coeficiente de determinação - R<sup>2</sup>; Raiz quadrada do erro médio da calibração - RMSEC; Raiz quadrada do erro médio da validação cruzada - RMSECV; Raiz quadrada do erro médio da predição - RMSEP; Relação de desempenho do desvio - RPD; Proteína bruta - PB; Digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica - DIVMO; Correção multiplicativa de sinal - MSC.

Nota-se que os melhores desempenhos dos modelos foram para o parâmetro de PB em relação à DIVMO, independentemente do modelo construído para amostras compostas ou individuais. Este resultado pode ser decorrente da estrutura do parâmetro analisado, uma vez que na proteína encontram-se ligações N-H, as quais são possíveis de serem absorvidas na região do infravermelho próximo, além de possuir o método de referência mais simples quando comparados com a DIVMO.

Entre os modelos para DIVMO e PB, os que apresentaram melhor desempenho foram os modelos aplicados às amostras compostas quando comparados com amostras individuais, com R<sup>2</sup> para calibração e validação cruzada de 0,93 e 0,90 e RMSEC e RMSECV de 1,10 e 1,33 para PB e R<sup>2</sup> de 0,83 e 0,71; RMSEC e RMSECV de 3,54 e 4,79 para DIVMO. Nestes modelos são contabilizadas as amostras de caprinos e ovinos durante todo o ano, contemplando todas as variações da composição do pasto, conforme a mudança dos períodos. O melhor desempenho observado nas amostras compostas pode ter ocorrido em razão de ser utilizada a média da qualidade da dieta, retirando assim, a instabilidade diária causada pela seletividade dos animais.



Quando se utiliza o modelo geral, com as amostras individuais, observa-se um menor  $R^2$  e maior RMSEC e RMSECV, tanto para PB quanto para DIVMO (Tabela 2). Estas variações podem ser decorrentes das variações do próprio animal no momento da escolha de sua dieta. Em pastagens heterogêneas, tais como a caatinga, os pequenos ruminantes podem expressar o seu comportamento seletivo e assim obter variações na composição da dieta no mesmo dia e entre os dias. Quando se utiliza as médias do valor nutricional ocorre uma redução desta variação entre os animais e entre os dias, reduzindo possíveis variáveis que não podem ser explicadas pelo modelo. Segundo Van Vliet et al. (2007) estas diferenças e variações na concentração de nutrientes presentes nas fezes é decorrente não só das diferenças da composição alimentar, mas também do processo de fermentação dos ingredientes, o que pode variar entre os animais.

Observa-se que houve uma redução nos valores de mínimo e máximo, das variáveis estudadas (Tabela 1). Nas amostras individuais, os valores variaram em amplitude de 27,39 a 82,63% para DIVMO e 9,94 a 30,03% para PB, enquanto para as amostras compostas, a variação foi de 34,06 a 75,47% para DIVMO e 11,44 a 27,68% para PB. Assim, é possível apontar que as análises químicas, feitas em laboratório, trazem a mesma resposta dos modelos desenvolvidos através da NIRS, mostrando que esta variação é característica da amostra coletada, decorrente da variação nutricional do pasto ao longo do ano e da seletividade dos animais.

Outro indicador de qualidade dos modelos são os números de fatores, os quais indicam a complexidade do modelo. Neste caso o modelo de DIVMO e PB para as amostras compostas se mostraram mais complexos utilizando 10 fatores. No entanto, apesar de se utilizar mais fatores para construção do modelo em relação às amostras individuais (DIVMO - 9 e PB - 8) este conseguiu reduzir o erro de 6,63 e 2,29 para os parâmetros de DIVMO e PB, respectivamente nas amostras individuais para 3,54 e 1,10 o que poderia justificar o seu uso na previsão da DIVMO e PB com amostras compostas.

Os valores de *Bias* foram considerados baixos para ambos os modelos, obtendo valores de -0,00000332, 0,000004180 para PB e DIVMO nas amostras individuais e 0,00000546, 0,00001049 para os mesmos parâmetros nas amostras compostas, indicando que suas possíveis interferências nos modelos avaliados podem ser descartadas. Segundo Oliveira (2014), o valor de *bias* é utilizado para detectar os erros sistemáticos, os quais são calculados pela diferença entre a média da população e o valor de referência, os quais indicam a exatidão de um modelo multivariado de quantificação.

O desempenho dos modelos de predição avaliados pela RPD seguiu a classificação adotada por Chang et al. (2001), a qual é classificada como: acurados ( $RPD > 2,0$ ), justos ou confiáveis ( $1,4 < RPD < 2,0$ ) e não confiáveis ( $RPD < 1,4$ ). A partir da classificação de RPD proposta por Chang et al. (2001), o modelo das amostras compostas para PB receberam a mais alta classificação, sendo considerados acurados com RPD de validação de 3,16, enquanto para a DIVMO, a RPD foi de 1,72, sendo considerado um modelo justo. Os modelos das amostras individuais foram considerados confiáveis, mesmo com o grande número de variações incorporadas nestes, com RPD de validação (1,40 e 1,97) para DIVMO e PB, respectivamente.

Quando se observa os valores de predição, os quais foram utilizados amostras fora do banco de calibração, o mesmo comportamento na validação cruzada foi observado na validação externa, com maiores  $R^2$  e menor RMSEP das amostras compostas em relação às amostras individuais (Tabela 2). Um menor  $R^2$  e um maior RMSEP foi observado para a DIVMO, provavelmente em razão da própria complexidade da determinação da análise como comentado anteriormente.

Embora, os modelos construídos com amostras compostas obtiveram melhores desempenhos, os modelos gerais também possuem sua aplicabilidade para avaliar a qualidade da dieta de pequenos ruminantes em pastos de caatinga cearense. Segundo Despagne et al. (2000), um modelo local tenderia a gerar melhores predições que o modelo global. Contudo, os mesmos enfatizam que o modelo global é mais robusto no sentido de que suas predições continuariam confiáveis em uma variação mais ampla de situações. Em ambos os casos há a necessidade de manutenção desses modelos periodicamente, com a inclusão de amostras de referência no modelo com a finalidade de aumentar a robustez, aperfeiçoar as previsões, seguindo um controle de qualidade.

### **Análise exploratória de amostras compostas de fezes de caprinos e ovinos**

Como discutido anteriormente, apesar dos modelos com amostras individuais possuírem sua aplicabilidade, os modelos com amostras compostas apresentaram melhor previsão, uma vez que os mesmos reduziram as diferenças nas variações dos valores nutricionais da dieta selecionada por pequenos ruminantes em pastejo. Segundo Holloway et al. (1981) essa variação entre os animais pode chegar até 70% e esta pode ser explicada pela variação na composição do material fecal. Coleman (2010) corrobora com essa afirmação,

uma vez que observou que animais na mesma área, consumiam no dia 1, dietas diferentes dos dias 2 e 3.

Assim, foi feita uma análise exploratória do conjunto de amostras compostas a fim de fornecer resultados mais detalhados sobre o conjunto de dados coletados. O objetivo do método de análise exploratória é fazer a avaliação inicial dos dados para conhecer os tipos de informações que se pode extrair, de forma a reduzir a dimensão dos dados, ou organizá-los de uma forma que facilite uma melhor visualização de todo o conjunto amostral (Carneiro, 2008). A PCA foi realizada para obter uma visão preliminar do comportamento dos dados, revelando as semelhanças e as diferenças entre as amostras (Figura 6). Na análise por PCA, um pré-processamento utilizando a MSC nos dados foi necessário para corrigir os dados espectrais das amostras.

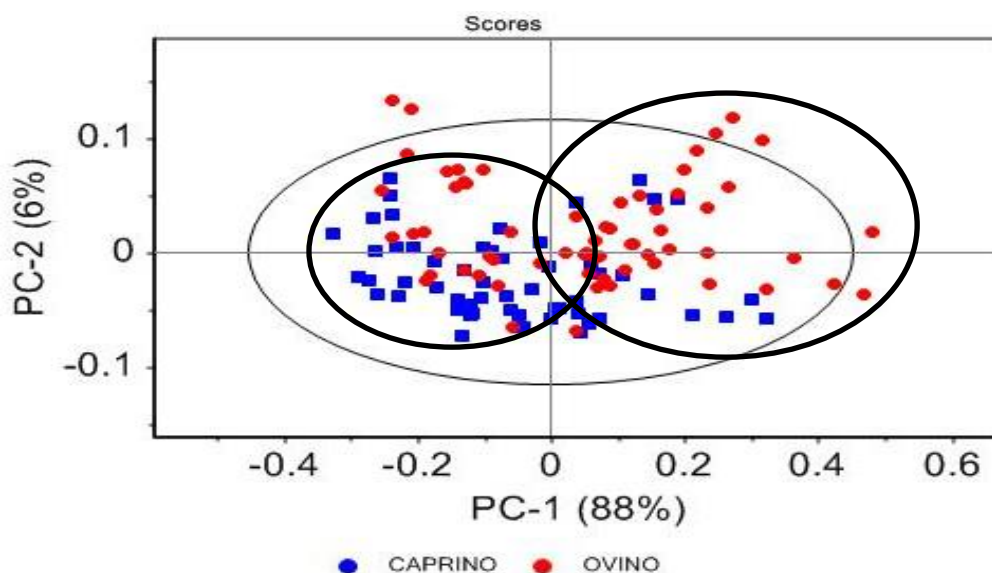


Figura 6 - Gráfico dos escores de PC-1 *versus* PC-2 das amostras compostas de fezes de caprinos e ovinos, pastejando na caatinga. A elipse representa as estatísticas de *Hotelling T*<sup>2</sup>, com 95% de probabilidade. As amostras do lado de fora da elipse têm a probabilidade maior que 95% de serem *outliers*.

No conjunto de amostras compostas, a análise de PCA para as espécies (Figura 6), caprinos e ovinos foi responsável pela explicação de 94% da variância nos dois primeiros PCs. Apesar de caprinos e ovinos demonstrarem preferências alimentares diferentes, onde caprinos possuem uma maior preferência por dicotiledôneas herbáceas e brotos de folhas de árvores e arbustos, e os ovinos por gramíneas observa-se que não houve formação de grupos, uma vez que ocorreu uma sobreposição das amostras das espécies entre caprinos e ovinos

(Figura 6). As amostras dos ovinos apresentaram-se mais espalhadas quando comparadas com as amostras de caprinos. Esse comportamento pode ser em razão das estratégias alimentares feitas pelos mesmos, como forma de adaptação ao que está disponível na área de pastejo. Observa-se que durante o período chuvoso há uma maior variedade de espécies forrageiras do estrato herbáceo (Capítulo 2), no entanto, à medida que o período seco se aproxima há uma redução da disponibilidade de plantas forrageiras, principalmente do estrato herbáceo, o que pode ter levado os ovinos a aumentarem o consumo de folhas de árvores e arbustos, reduzindo assim, as diferenças de seleção da dieta dos mesmos.

A presença de folhas de plantas do estrato arbustivo e arbóreo, em forma de serapilheira é o principal constituinte da dieta de caprinos e ovinos nos períodos de ausência ou baixa precipitação pluvial, o que pode ter ocasionado a similaridade da dieta entre os mesmos. Araújo Filho et al. (1996) observaram que o maior grau de similaridade entre as dietas de caprinos e ovinos foi na época seca, diminuindo o percentual de gramíneas e dicotiledôneas herbáceas na dieta, e aumentando o percentual de brotos e folhas de plantas lenhosas.

Na PCA tem-se uma análise geral dos dados, no entanto as informações das classes não são usadas para construir os modelos, portanto há necessidade de juntar a PCA com a informação da classe para gerar modelos de classificação baseado na SIMCA. A SIMCA constitui um modelo de classificação, a qual expõe o quanto estas amostras podem ser iguais ou diferentes, baseados na distância entre elas (Balabin et al., 2010). Com base na classificação de SIMCA, as amostras de caprinos e ovinos obtiveram 100% de similaridade quando foram classificadas dentro do modelo específico da sua espécie (Tabela 3).

Tabela 3 - Classificação de amostras de fezes de caprinos e ovinos utilizando SIMCA.

	Caprinos		Ovinos	
	Acertos/Erros	Grau de similaridade (%)	Acertos/Erros	Grau de similaridade (%)
Caprinos	100/100	100	51/5	91
Ovinos	47/16	74,6	100/100	100

Quando se testou as amostras de caprinos no modelo de ovinos, a similaridade foi de 91%, o contrário foi 74,6%. O maior grau de similaridade do modelo de classificação dos ovinos para classificar as amostras de caprinos pode ser decorrente de uma dieta mais abrangente em relação à dieta dos caprinos. Somada a isto, a maior proporção de espécies lenhosas na área durante o ano pode ter aumentado o consumo destas espécies pelos ovinos,

as quais são preferências alimentares dos caprinos, o que abrangeria a dieta dos mesmos, com aumento desta similaridade. Segundo Araújo Filho e Crispim (2002), em condições de caatinga nativa, o maior percentual de semelhança entre os estratos da vegetação entre caprinos e ovinos foi para as espécies do estrato lenhoso, correspondendo a 61,4%, enquanto as gramíneas foram apenas de 22,3%. A partir da análise exploratória e classificação das amostras por espécie, verifica-se que o desenvolvimento de um modelo de PLS envolvendo ambas as espécies se justifica, já que as mesmas apresentaram-se bastante semelhantes.

As amostras compostas das fezes de caprinos e ovinos foram coletadas ao longo do ano, o que pode ter resultado em variações no valor nutricional da dieta selecionada de acordo com o período. Levando em consideração esta hipótese testou-se a PCA com o intuito de verificar a formação de agrupamentos nos diferentes períodos avaliados, como pode ser visto na Figura 7.

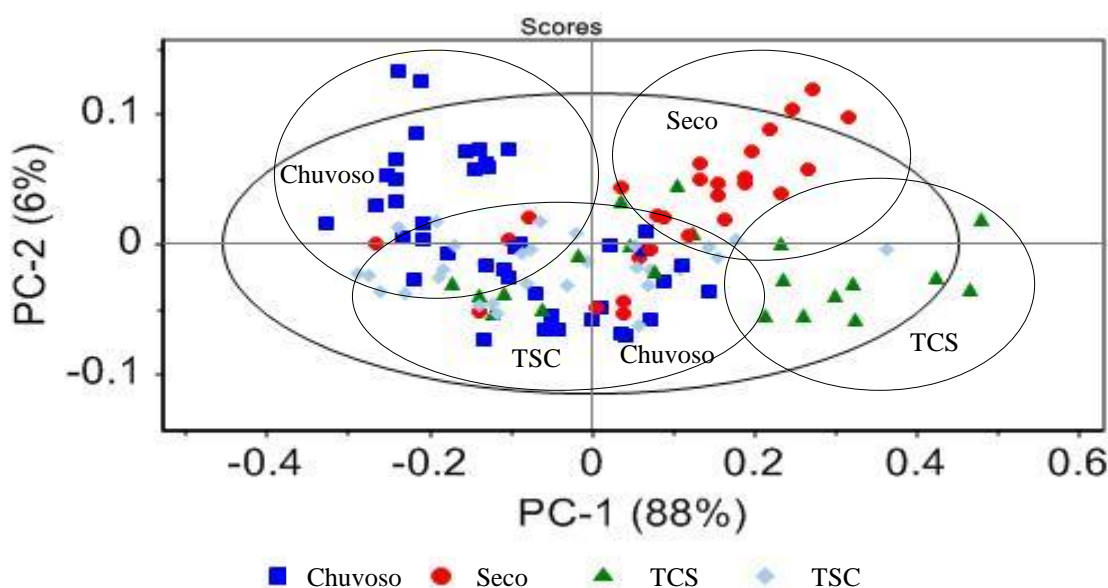


Figura 7 - Gráfico dos escores de PC-1 *versus* PC-2 nas amostras compostas de fezes de caprinos e ovinos, pastejando na caatinga, em diferentes períodos de coleta. Transição chuva/seca - TCS: Transição seca/chuva - TSC.

De acordo com a Figura 7 observa-se um agrupamento dos períodos, com a aproximação entre as amostras do período chuvoso e TSC e as amostras do período seco juntamente com TCS. Essas diferenças podem ter ocorrido pela irregularidade na distribuição das chuvas que normalmente ocorrem no bioma Caatinga durante o ano, tendo reflexo direto na composição nutricional do pasto. As amostras do período chuvoso e TSC podem apresentar maior concentração de nutrientes quando comparados com as amostras dos

períodos seco e TCS, o que pode ter resultado em diferenças espectrais. Araújo Filho et al. (1996) observaram mudanças nos valores nutricionais conforme os períodos do ano quando avaliaram a composição química da dieta de ovinos e caprinos em pastejo combinado, os quais observaram teores de 13,4; 8,5 e 16,5% de PB e 52,4; 58,7 e 55,3% para FDN nos períodos de transição chuva-seca, seca e transição seca-chuva, respectivamente.

Para testar o grau de similaridade ou diferenças entre as amostras dos diferentes períodos foi feita uma análise de classificação de SIMCA, como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação das amostras fezes de caprinos e ovinos, por períodos, utilizando SIMCA.

Períodos	Acertos/Erros Grau de similaridade (%)			
	Chuvoso	TCS	Seco	TSC
Chuvoso	41/41	11/30	0/41	10/31
	100	26,83	0	24,39
TCS	10/11	21/21	2/19	1/20
	47,62	100	9,52	4,76
Seco	1/26	7/20	26/1	1/26
	3,70	25,92	96,33	3,70
TSC	19/11	22/8	2/28	29/1
	63,33	73,33	6,66	96,66

Transição chuva/seca - TCS; Transição seca/chuva - TSC.

Observa-se que a análise de SIMCA é um método de alta efetividade para classificação dos grupos, os quais apresentaram grau de similaridade de 100% para as amostras do período chuvoso e TCS, 96,33% para o período seco e 96,66% para TSC, quando foram testados nos seus respectivos modelos de PCA. No entanto, quando se testou amostras do período chuvoso no modelo de classificação de amostras do período seco, estas se mostraram diferentes (0%). Da mesma forma, quando se avaliou a classificação de amostras do período seco no modelo do período chuvoso (3,70%). Pontes et al. (2006) usaram esse método para classificar bebidas alcoólicas destiladas e verificaram adulteração por meio da técnica NIRS, com acertos de 100% a 95% do nível de confiança. Batista (2016) utilizando o método de SIMCA para classificação de madeiras maciças ou em pó de plantas da caatinga obtiveram bons resultados de classificação quando alguns pré-tratamentos foram utilizados. Estes resultados mostram que a ferramenta de classificação utilizando a SIMCA, além de ter apresentado alta sensibilidade, classificando as amostras dentro da sua respectiva classe, mostrou-se também a sua especificidade, diferenciando aquelas amostras não pertencentes

àquela classe. Segundo Oliveri et al. (2011), a escolha do modelo depende do objetivo específico a qual deseja, sendo possível escolher modelos com valores elevados de sensibilidade ou especificidade ou ambos os parâmetros.

Em relação às amostras dos períodos de transições quando testadas no modelo de classificação do período chuvoso foram mais similares em relação às do período seco (Tabela 4). Esse comportamento pode ser relacionado à capacidade de pequenos ruminantes em selecionar dieta de maior qualidade comparada ao que está disponível no pasto.

Apesar de todas estas diferenças pode-se observar que estas amostras possuem a mesma base química, ou seja, são amostras que possuem proteínas, fibras, lipídios. As diferenças entre as mesmas estão relacionadas às variações nas concentrações desses nutrientes, causando assim, vibrações diferentes. Conforme Alomar et al. (2003) a capacidade de um modelo NIR identificar um amostra como similar ou diferente de uma determinada população é baseada nas respostas das vibrações das ligações químicas na região do infravermelho próximo. Os mesmos enfatizam que quanto maior a variabilidade nos grupamentos químicos (proteínas, matéria seca, óleos), que respondem a estas vibrações, melhor a precisão do modelo. Wang et al. (2015) avaliaram a classificação de produtos farmacêuticos de diferentes fornecedores e verificaram que as diferenças dos produtos a serem classificados em uma determinada classe foi determinada pelas diferenças nos conteúdos de grupos celulósicos, água, ligações de hidrogênio e grau de polimerização e não do tipo de fornecedor. Para confirmar esta afirmação foi feita uma PCA com o valor de PB (a) e DIVMO (b) como variáveis categóricas, como pode ser observado na Figura 8.

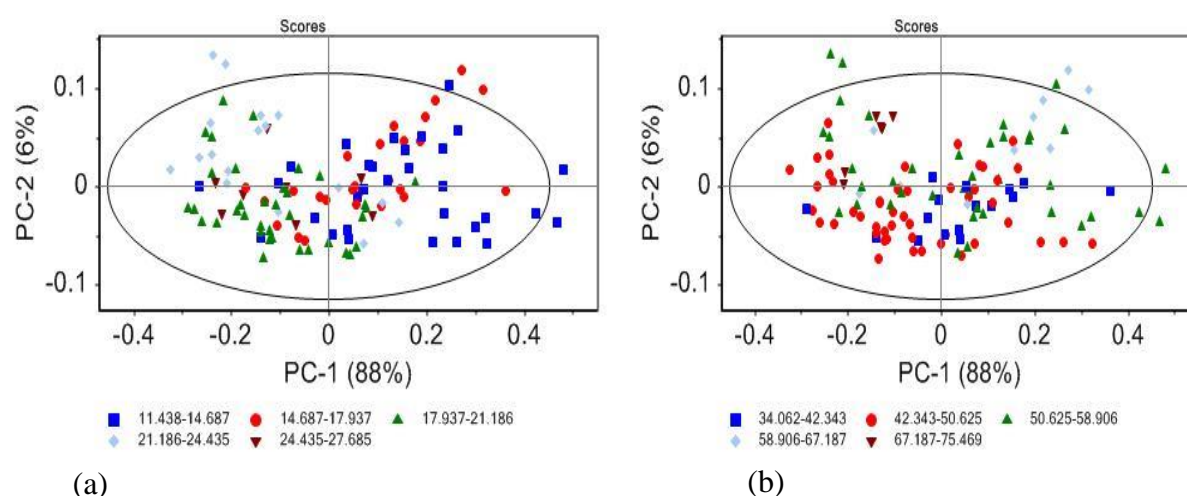


Figura 8 - Gráfico dos escores de PC-1 *versus* PC-2 nas amostras compostas de fezes de caprinos e ovinos, pastejando na caatinga com base na PB (a) e DIVMO (b).

De acordo com a Figura 8, observa-se que há uma grande variação da composição nutricional das amostras, onde se observou uma variação para PB de 11,43 até 27,68% e para DIVMO de 34,06 a 75,46%. Essas variações nos teores de PB e DIVMO são em função das diferenças na distribuição das chuvas ao longo do ano, o que influencia na maior ou menor concentração de nutrientes ao longo do período avaliado. Verifica-se que não é possível uma separação de grupos dos valores de PB e DIVMO, mostrando variações em ambos os PCs.

Isso justifica o desenvolvimento de um modelo de regressão com todos os períodos, pois as mesmas podem se complementar e explicar a variação da composição nutricional do pasto ao longo do ano, bem como a capacidade de seleção dos pequenos ruminantes em pastejo.

### **Modelos de amostras compostas de fezes de caprinos e ovinos com diferentes pré-tratamentos**

A técnica NIRS pode apresentar alguns sinais fracos, bandas sobrepostas e efeitos de dispersão da luz, o que dificulta a interpretação dos espectros. Borrás et al. (2015) propõem a utilização de tratamentos matemáticos utilizados antes do desenvolvimento dos modelos de regressão, para reduzir os efeitos de dispersão da linha de base, variação do comprimento de onda, sobreposição das bandas, variações no espalhamento da luz e da temperatura, alcançando assim melhores desempenhos dos modelos desenvolvidos. Para corrigir estas interferências foram utilizados alguns tratamentos matemáticos, isolados ou combinados, e posteriormente foi desenvolvido os modelos de calibração, validação e predição (Tabela 5).

De acordo com a Tabela 5, verifica-se que independente do tipo de tratamento matemático utilizado, o parâmetro para PB apresentou melhores resultados quando comparados com a DIVMO, apresentando maiores  $R^2$  para calibração, validação e predição e menores RMSEC, RMSECV e RMSEP. Esses resultados estão relacionados com a natureza da própria amostra, uma vez que a proteína é composta basicamente por C, N e H, enquanto a DIVMO possui uma estrutura bem mais complexa, além de maior número de procedimentos para sua determinação em laboratório, o que pode aumentar o seu erro. Showers et al. (2006) corrobora com essa afirmação, uma vez que os mesmos relatam que a determinação da digestibilidade pelo método da NIRS alcança valores mais baixos por ser um parâmetro que envolve efeitos do animal, somada a diversidade de componentes da sua matriz química e o maior erro associada a sua determinação no laboratório, quando comparada a PB.



Tabela 5 - Parâmetros PLS para modelos de calibração e validação de proteína bruta (PB) e digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO) da dieta de caprinos e ovinos, desenvolvidos com diferentes pré-tratamentos.

Pré-tratamentos	Calibração			Validação		Predição	
	Nº fatores	R <sup>2</sup>	RMSEC	R <sup>2</sup>	RMSECV	R <sup>2</sup>	RMSEP
PB							
MSC	7	0,89	1,33	0,86	1,57	0,88	1,89
MSC + 1 Der	6	0,92	1,18	0,89	1,36	0,89	1,72
MSC + 2 Der	5	0,94	0,99	0,89	1,40	0,88	1,54
SNV	8	0,90	1,32	0,86	1,55	0,88	1,73
SNV + 1 Der	6	0,92	1,18	0,90	1,35	0,89	1,64
SNV + 2 Der	7	0,96	0,72	0,91	1,27	0,88	1,43
1 Der	6	0,91	1,23	0,87	1,51	0,88	2,04
2 Der	5	0,95	0,89	0,91	1,28	0,87	1,73
<i>Savitzky-golay</i> + 1 Der	7	0,93	1,09	0,89	1,36	0,91	1,51
<i>Savitzky-golay</i> + 2 Der	5	0,95	0,89	0,90	1,24	0,87	1,73
DIVMO							
MSC	10	0,85	3,39	0,75	4,40	0,56	4,29
MSC + 1 Der	10	0,86	3,24	0,67	5,04	0,56	4,34
MSC + 2 Der	5	0,82	3,68	0,67	5,04	0,45	5,04
SNV	10	0,84	3,48	0,71	4,67	0,55	4,42
SNV + 1 Der	10	0,86	3,22	0,70	4,78	0,57	4,31
SNV + 2 Der	5	0,82	3,66	0,69	4,91	0,45	5,09
1 Der	10	0,87	3,13	0,70	4,84	0,50	4,99
2 Der	5	0,84	3,41	0,68	5,07	0,40	6,07
<i>Savitzky-golay</i> + 1 Der	10	0,87	3,13	0,70	4,85	0,50	4,99
<i>Savitzky-golay</i> + 2 Der	6	0,87	3,05	0,69	4,92	0,37	6,08

Pré-tratamentos das amostras - Pré-trat; Erro sistemático (viés) – *Bias*; Coeficiente de determinação - R<sup>2</sup>; Raiz quadrada do erro médio da calibração - RMSEC; Raiz quadrada do erro médio da validação cruzada - RMSECV; Raiz quadrada do erro médio da predição - RMSEP; Digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica - DIVMO; Proteína bruta - PB; Correção Multiplicativa de Sinal - MSC; Variação Normal Padrão - SNV; 1ª derivada – 1 Der; 2ª derivada - 2 Der.

Os melhores modelos para PB foram aqueles que utilizaram a SNV + 2 Der e o *savitzky-golay* + 2 Der. O *Savitzky-Golay* é utilizado para a suavização dos espectros, ou seja, eliminar os ruídos aleatórios de alta frequência, a fim de aumentar a relação sinal/ruído, podendo ser combinado com outros métodos de pré-processamentos, tais como as derivadas. Já a SNV seria utilizada para minimizar os efeitos causados pelo tamanho das partículas e diferenças de densidades das amostras (Engel et al., 2013).

Viegas et al. (2016) testaram três métodos de pré-processamentos em amostras de frutas de jambu: *Savitzky-Golay* com diferentes janelas (3, 5 e 7), MSC e primeira e segunda derivadas. Os mesmos destacaram que houve variação nos resultados dos diferentes processamentos de acordo com o parâmetro avaliado. No entanto, destacaram que o método da segunda derivada, alcançou melhores resultados de previsão do modelo (R<sup>2</sup> - 0,98).

Os parâmetros para avaliação da qualidade do modelo desenvolvido foram baseados nos valores mais altos de  $R^2$  para calibração, validação e predição (0,96, 0,91 e 0,88 - SNV + 2 Der; 0,95 0,90 e 0,87 - *savitzky-golay* + 2 Der) e menores RMSEC (0,72 e 0,89), RMSECV (1,27 e 1,24) e RMSEP (1,43 e 1,73) respectivamente, além do número de fatores. Os maiores valores de  $R^2$  para calibração, validação e predição expressam a proporção da variância explicada da variável resposta na calibração, enquanto o RMSEC e RMSECV indicam a precisão do modelo, por isso são considerados como critérios de desempenhos dos modelos (Cozzolino et al., 2011).

Nos modelos desenvolvidos para DIVMO, os tratamentos com MSC e SNV + 1 Der foram os que apresentaram melhores desempenhos, com  $R^2$  de calibração, validação e predição (0,85, 0,75 e 0,56 - MSC; 0,86 0,70 e 0,57 - SNV + 1 Der.), RMSEC (3,39 e 3,22), RMSECV (4,40 e 4,78), RMSEP (4,29 e 4,31) e 10 fatores para ambos os tratamentos aplicados. A MSC possui a vantagem de corrigir principalmente os efeitos de dispersão e espalhamento da luz, causados pela falta de homogeneidade ou diferenças de granulometria das amostras (Sabin et al., 2004).

Os maiores erros para DIVMO podem ser decorrentes das diferenças de digestibilidades das plantas forrageiras ao longo do ano, os quais tem efeito direto na concentração maior ou menor de alguns grupos químicos. Segundo Kneebone e Dryden (2015), as mudanças na digestibilidade, o nível de consumo e os efeitos destes sobre as excreções endógenas são presumivelmente detectados pelos modelos que preveem a digestibilidade. No entanto, apesar dos maiores erros associados à determinação da DIVMO pela NIRS fecal, a mesma foi eficaz e mostra um valor mais real, uma vez que considera os efeitos dos animais.

A estimativa da DIVMO pela NIRS em amostras de fezes é importante, pois as mesmas dependem da taxa de digestão no rúmen (Illius e Jessop, 1996), características das plantas (Allen, 1996) e o comportamento animal (Provenza et al., 2003), todos vinculados as características dos próprios animais, o que não seria possível apenas com análise das amostras de forragem. Isso vai de acordo com a teoria da NIRS fecal, onde as fezes são reflexos das características químicas e biológicas da dieta consumida, bem como seu estado fisiológico.

O tratamento *Savitzky-golay* + 1 Der e a 1 Der apesar de apresentar um  $R^2$  de calibração maior (0,87) e menor RMSEC (3,13) que os dois primeiros citados, apresentaram menor  $R^2$  de predição (0,50) e maiores RMSECV(4,85 e 4,84) e RMSEP (5,00 e 4,99), respectivamente. Conforme Agelet e Hurburgh Júnior (2014) não se devem considerar apenas

a estatística de calibração, mas os resultados da previsão, pois este serão utilizado no desempenho dos modelos em procedimentos de avaliações futuras.

Em trabalhos que foram testados diferentes pré-tratamentos observou-se resultados diferentes, de acordo com o parâmetro avaliado. Luo et al. (2016) alcançaram melhores resultados com o uso da MSC, porém combinados com a derivação *Savitzky Golay* (janela de 7 pontos e um polinômio de terceira ordem). Os mesmos autores não alcançaram bons resultados com a 1ª e a 2ª derivadas, justificando o aumento dos ruídos, como consequência do pior desempenho previsto do modelo. Moghimi et al. (2010) ao desenvolver modelos de predição para pH e sólidos solúveis com dados sem aplicação de tratamentos matemáticos e com aplicação de diferentes tratamentos matemáticos, isolados ou combinados, observaram que houve uma redução no número de fatores, aumento do  $R^2$  e redução do RMSEP, quando o pré-tratamento foi aplicado.

Em relação ao número de fatores, os modelos para DIVMO considerados com melhor desempenho apresentaram maior número de fatores (10) quando comparados com aqueles para PB (7 e 5). Arazuri et al. (2014) avaliaram o conteúdo de sólidos solúveis de uvas e encontraram variações no número de fatores entre 7 e 14, utilizando diferentes pré-tratamentos. O número adequado de fatores utilizados permite modelar o sistema com a quantidade ótima de informações, evitando uma subestimação ou superestimação do modelo, alcançando melhor desempenho nas previsões (Carneiro, 2008).

Existem questionamentos e opiniões diversas quanto ao melhor tipo de tratamento matemático e se estes devem ser utilizados isolados ou combinados. Alguns autores justificam que o uso de muitos tratamentos matemáticos em um banco de dados podem eliminar informações relevantes para a construção do modelo, enquanto outros relatam que não há comprometimento das informações quando se utiliza mais de um tratamento. Segundo Sun (2009) o método ideal de pré-processamento para um conjunto de dados é a combinação ou a transformação única que oferece o melhor desempenho de regressão após validação rigorosa para todas as variações possíveis no banco de dados. Para Engel et al. (2013) a estratégia da escolha do pré-processamento depende do objetivo da análise, podendo ser tratado como uma abordagem de “tentativa e erro”.

A partir das escolhas dos dois melhores modelos para cada parâmetro avaliado foi utilizada as ferramentas de X-Y *outliers* e a seleção das variáveis mais importantes para o desenvolvimento de uma nova regressão de PLS.

Na Figura 9 encontram-se os modelos de calibração e validação para PB usando a SNV + 2 Der (a) e (b) e o *savitzky-golay* + 2 Der (c) e (d) utilizando as ferramentas citadas acima.

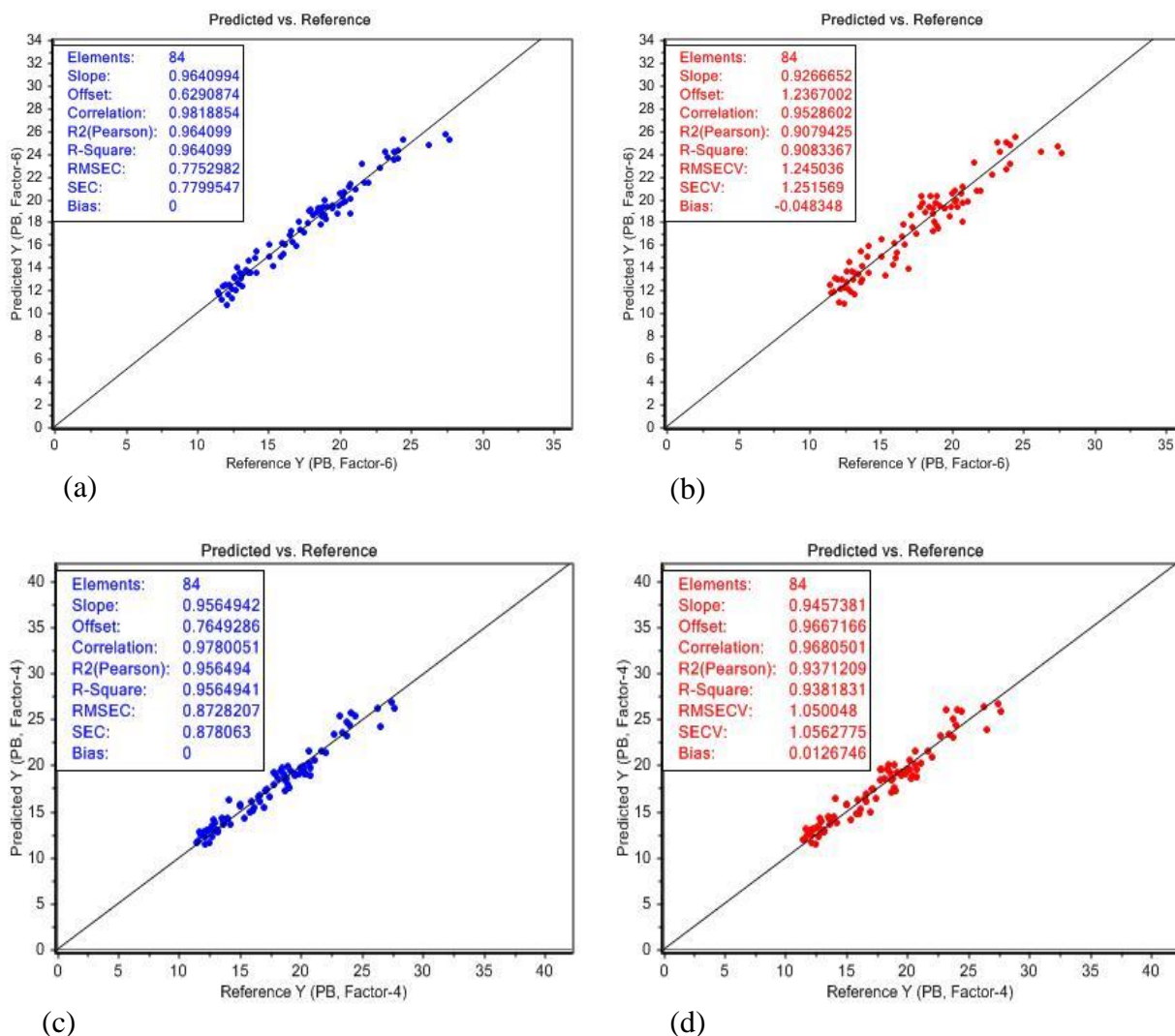


Figura 9 - Modelos de calibração e validação de PB utilizando os pré-tratamento SNV + 2 Der (a) e (b) e *savitzky-golay* + 2 Der (c) e (d) com aplicação da seleção de variáveis.

Observa-se que o modelo utilizando o tratamento SNV + 2 Der apresentou o mesmo  $R^2$  de calibração em relação ao modelo anterior (0,96), porém com menor  $R^2$  de validação cruzada (0,90 *versus* 0,91), maior RMSEC (0,77 *versus* 0,72) e com um menor número de fatores utilizados (6) (Figura 9). No entanto, ao realizar a nova predição, houve um aumento do  $R^2$  (0,91) e a redução do RMSEP (1,38) em relação ao modelo anterior, aumentando assim, a capacidade de predição do modelo quando se utilizou a seleção de variáveis e a retirada de amostras consideradas *outliers*. A validação cruzada apesar de indicar a capacidade de

previsão do modelo, não é a mais indicada, uma vez que estas amostras fazem parte do banco de calibração, podendo trazer resultados otimistas. Assim, é importante ter um conjunto de amostras independentes para serem testadas, como foi feito neste estudo, com avaliação da validação cruzada e a validação externa com a separação do banco de dados não utilizados no processo de calibração.

Foram retiradas três amostras consideradas *outliers*, de acordo com a ferramenta X-Y *outlier*. O aumento da precisão e exatidão quando se retirou amostras consideradas *outliers* e o uso de seleção de amostras mais importantes para o modelo, mostra que o uso destas ferramentas podem ser utilizadas para aumentar o desempenho dos modelos. A validação é de grande importância, pois os resultados indicam se o modelo desenvolvido é adequado ou não para a determinação do parâmetro desejado em avaliações futuras (Carneiro, 2008).

Ao avaliar o tratamento *savitzky-golay* + 2 Der observou-se que o mesmo obteve maior valor de  $R^2$  (0,93 e 0,91) para validação e predição e menores RMSEC e RMSECV (0,87 e 1,05), além do menor número de fatores em relação ao modelo anterior. Os menores erros indicam uma maior exatidão do modelo, ou seja, expressa a concordância entre o valor estimado e o valor de referência (Carneiro, 2008). Conforme Williams (2004) os modelos desenvolvidos com a técnica NIRS devem ter um  $R^2$  superior a 0,80 e um REMSECV próximo ao RMSEC.

Quando se retirou amostras consideradas *outliers* e o uso da seleção de variáveis ocorreu à redução do número de fatores (Figura 9 c e d). Esse parâmetro deve ser levado em consideração na análise do desempenho do modelo, pois influi diretamente na capacidade preditiva. Quando se utiliza muitos fatores, pode ter redundância nas variáveis X, sendo um modelo dependente do conjunto de dados, causando previsões ruins, enquanto o uso de poucos fatores, o modelo pode não ter variabilidade suficiente para alcançar a variação dos dados (Cozzolino et al., 2011). Segundo Cozzolino et al. (2009), este número “apropriado” depende fortemente do número de amostras utilizadas para desenvolver os modelos.

Em relação ao número de amostras para desenvolver um modelo, não se tem um número definido da quantidade ideal. Segundo Pasquini (2003), o número de amostras pode variar conforme a complexidade destas, e que todas as alterações relacionadas às variações sazonais e outros fatores de variabilidade devem ser incluídas no modelo. Neste estudo, as amostras selecionadas para a construção dos modelos apresentam variações quanto à espécie animal (dieta de caprinos e ovinos), tipos de plantas forrageiras, distintas partes das plantas e diferentes períodos do ano.

Para o modelo utilizando o tratamento *savitzky-golay* + 2 Der também foram retiradas três amostras consideradas *outliers*, baseado no gráfico de *X-Y outlier* e os efeitos destes no desempenho dos modelos de regressão. Segundo Nicolai et al. (2007) a retirada de *outliers* deve ser feita com cuidado, evitando a retirada excessiva de dados. Uma amostra pode ser considerada *outlier* por um erro na concentração do nutriente obtido pelo método de referência ou espectro coletado errado, os quais podem apresentar características espectrais diferentes em relação à maioria das amostras utilizadas na calibração. A identificação e a eliminação de valores atípicos são de extrema importância, uma vez que sua presença pode afetar adversamente a robustez e a capacidade preditiva do modelo. Porém, segundo Pasquini (2003) essa amostra não deve ser simplesmente eliminada, deve-se observar a importância desta no modelo e tirar suas próprias conclusões.

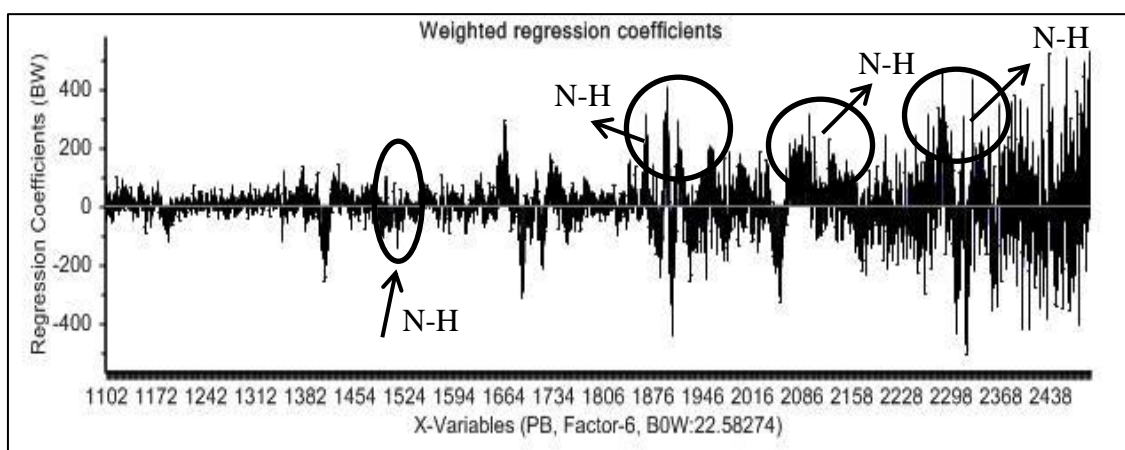
Estes resultados mostram a importância do uso da seleção das variáveis mais importantes relacionadas com o parâmetro analisado no desenvolvimento do modelo utilizando o método PLS, pois a mesma aumentou a capacidade de predição do modelo, além de reduzir a sua complexidade.

Essa relação entre os principais comprimentos de ondas relacionados com o parâmetro avaliado reforça a capacidade do NIR em absorver a radiação proveniente das ligações com compostos orgânicos, ligados às estruturas dos carboidratos, proteínas, óleos ou álcoois (Agelet e Hurburgh Júnior, 2014). Assim, quando se faz esta seleção, permite-se identificar de forma mais precisa os grupos moleculares relacionados à PB, com os seus respectivos comprimentos de ondas.

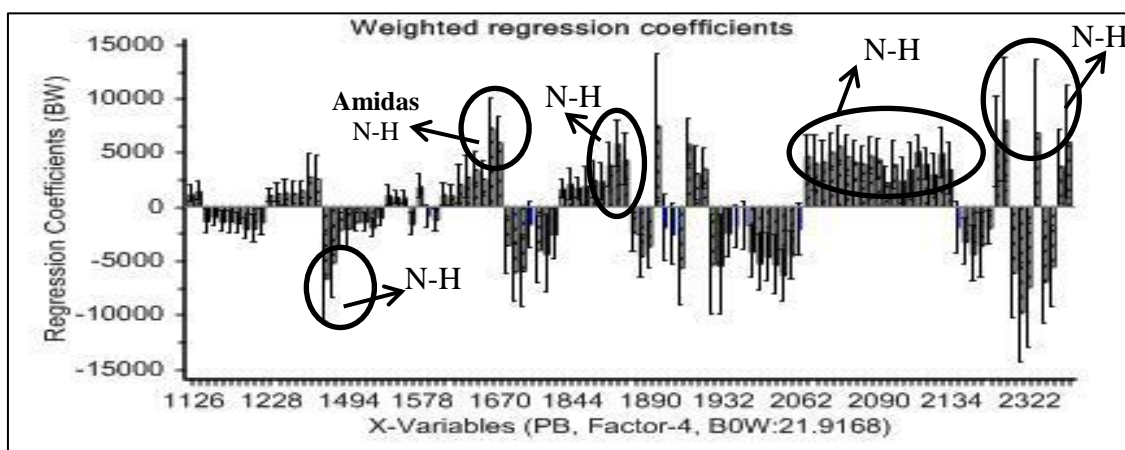
Na Figura 10 é possível verificar os pesos dos coeficientes das variáveis importantes para cada modelo desenvolvido. Observa-se que para o modelo utilizando o tratamento SNV + 2 Der (a) houve a participação de mais variáveis em relação ao *savitzky-golay* + 2 Der (b).

De acordo com a Figura 10, alguns picos de absorção mais expressivos podem ser relacionados com a ligação química N-H, a qual possivelmente pode estar associada à matriz proteica. Segundo Cheng e Sun (2016) os comprimentos de ondas nas faixas de 1550, 2055 e 2180 nm são relacionados a propriedades proteicas. Osborne (2006) também relata os comprimentos de ondas de 1126, 1496, 1872, 1878, 2050, 2070, 2322 nm como ligados às estruturas N-H. Awuma (2003) encontrou forte relação do comprimento de onda de 1620 nm com a ligação N-H, amidas e grupos de aminoácidos. O mesmo ressalta que isso confirma a presença de atividade microbiana.

Nota-se que a ligação N-H possui alta relação com a estrutura da proteína, o que pode ser confirmado com os picos dos coeficientes mais importantes utilizados na determinação da PB, com os comprimentos de ondas relacionados com esta ligação química (Figura 10).



(a)



(b)

Figura 10 - Peso dos coeficientes de regressão utilizando os pré-tratamentos SNV + 2 Der (a) e *savitzky-golay* + 2 Der (b).

O uso da seleção de variáveis aperfeiçoa e simplifica o processo de modelagem, uma vez que é possível relacionar aquelas variáveis que são mais importantes para o parâmetro avaliado. As variáveis com ruído excessivo ou os comprimentos de ondas não correlacionados com o parâmetro químico analisado são eliminados com uma perda mínima de informação (ElMasry et al., 2012).

Na Figura 11 encontram-se os modelos de calibração e validação para DIVMO usando a MSC (a) e a SNV + 1 Der (b) com aplicação da seleção de variáveis e a retirada de *outliers*.

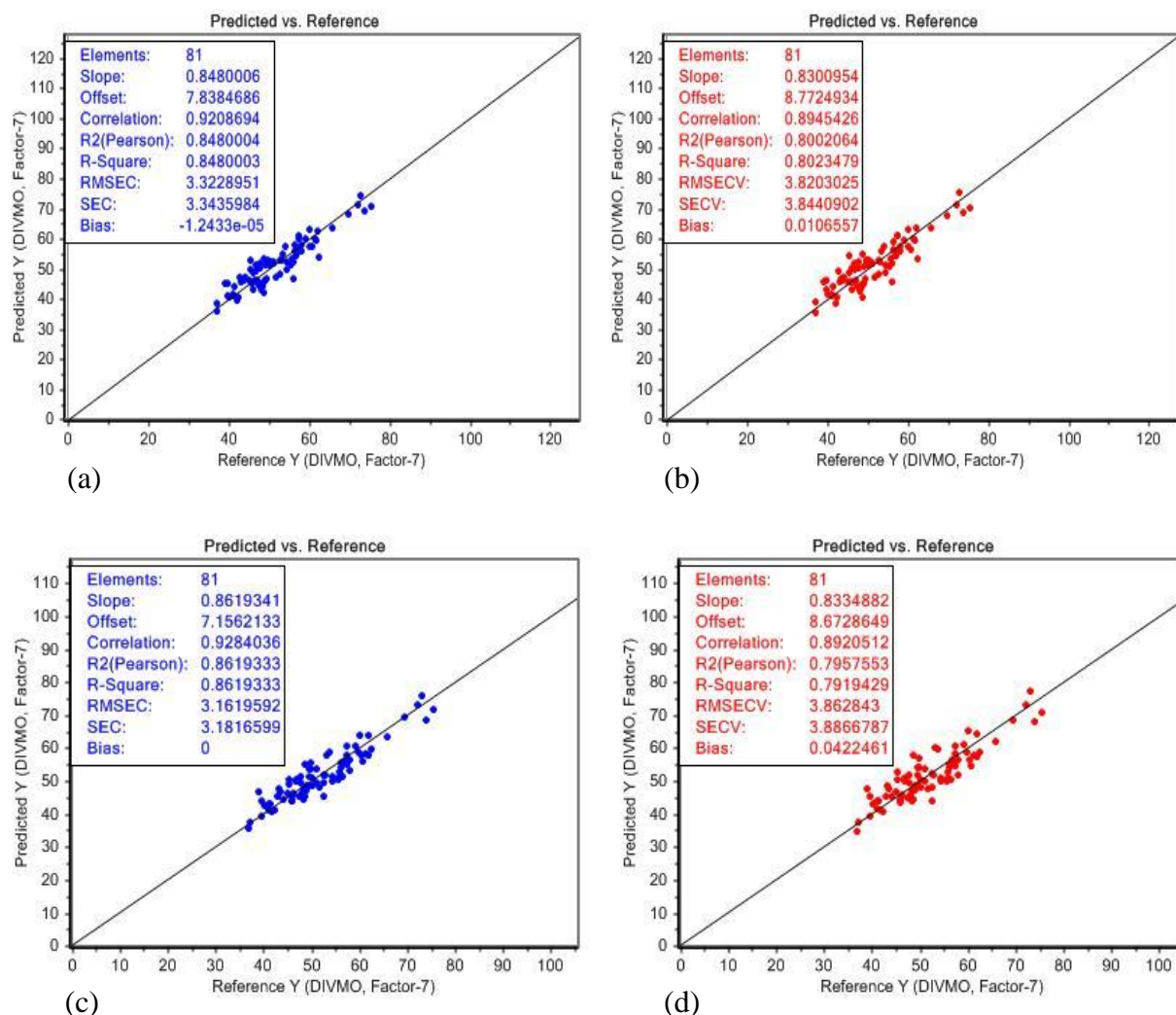


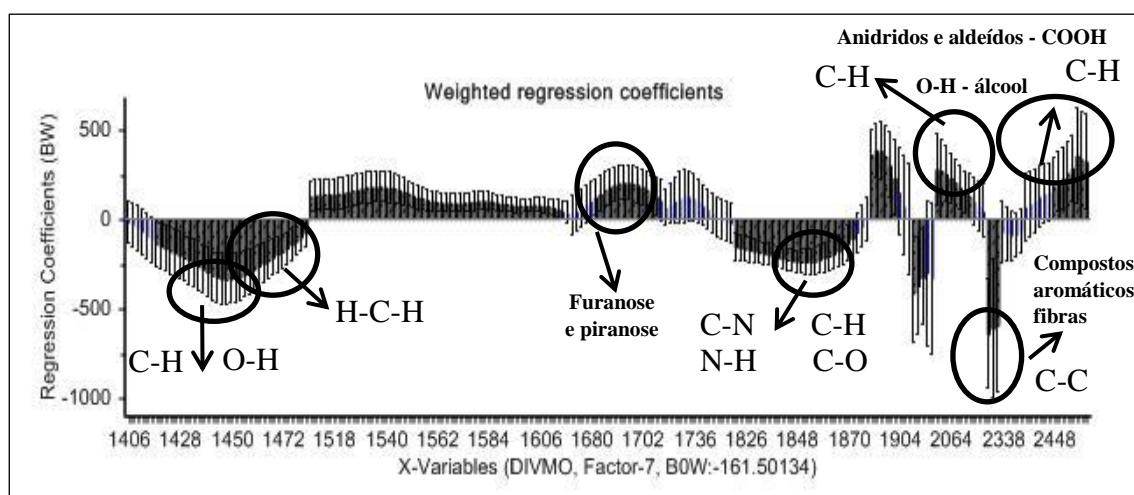
Figura 11 - Modelos de calibração e validação de DIVMO utilizando os pré-tratamentos MSC (a) e (b) e SNV + 1 Der (c) e (d) com aplicação da seleção de variáveis.

Verifica-se que tanto o modelo utilizando a MSC quanto o que utilizou a SNV + 1 Der diminuíram o número de fatores de 10 para 7 (Figura 11), com redução da complexidade do modelo. Em relação aos valores de  $R^2$  para validação, os novos modelos aumentaram a capacidade de predição, em ambos os pré-tratamentos, assim como reduziram os valores de RMSECV. No entanto, ao avaliar a predição estes reduziram o  $R^2$  (0,52 e 0,53) e aumentaram os valores de RMSEP (5,14 e 4,31). Esse comportamento pode ter ocorrido pela redução do número de fatores utilizados para construção do modelo. No entanto, apesar destes resultados, a redução da complexidade do modelo justificaria a utilização da seleção de variáveis e a retirada de *outliers*. A escolha do número fatores ótimos é relevante, pois ao escolher um número excessivo de fatores pode induzir a um modelo superajustado, enquanto um número de fatores insuficiente pode levar a um modelo subajustado (Ferreira, 2015).

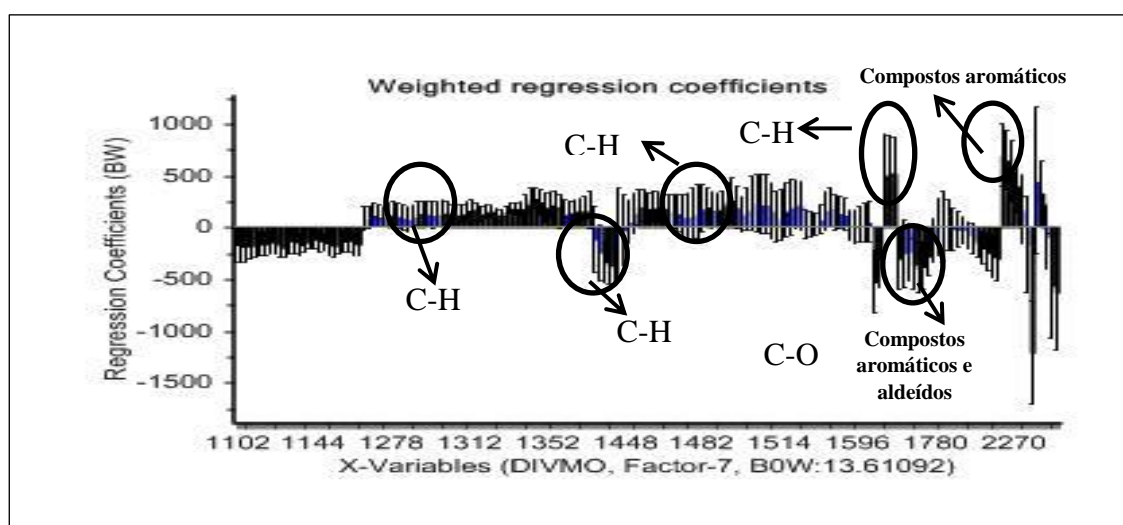


O uso da ferramenta X-Y *outlier* na identificação de amostras anômalas é interessante, pois a mesma considera as variáveis x (espectros) e as variáveis y (referência) para a detecção deste tipo de amostra (Cozzolino et al., 2011). No entanto, alguns autores (Martens e Naes, 1996.; Nicolai et al., 2007.; Dardenne, 2010) recomendam que a retirada excessiva de *outliers* devem ser evitadas.

Na Figura 12 é possível verificar as variáveis importantes para cada modelo desenvolvido para o parâmetro de DIVMO, com o peso dos coeficientes utilizados. Podem-se observar algumas regiões relacionadas com as ligações químicas C-H, CH<sub>2</sub>, C-O, C-C, C-N, COOH, as quais podem estar envolvidas com a composição química dos constituintes da DIVMO (Figura 12).



(a)



(b)

Figura 12 - Peso dos coeficientes de regressão utilizando os pré-tratamentos MSC (a) e SNV + 1 Der (b).

Segundo Kaur et al. (2016), as bandas de absorção de 1208, 1496, 2308 nm estão relacionadas as ligações C-H e CH<sub>2</sub>. Zou et al. (2010) citam as bandas de absorção de 1670, 1780, 2100, 2180 nm atribuídas a compostos aromáticos, os quais podem ter relação com a estrutura da fibra vegetal. Decruyenaere et al. (2009) também relatam picos mais altos nas regiões de comprimentos de ondas de 2078, 2110 e 2268 nm relacionados a fibra. Os mesmos autores ressaltam que a maior concentração de resíduos de fibras nas fezes pode ser decorrente de uma menor digestibilidade.

Batista (2016) relatou as regiões entre 1428 e 1923 nm relacionadas às vibrações O-H e C-H presentes na celulose e lignina, 1449 a 1459 nm a combinação C-H dos compostos aromáticos e grupos fenólicos da lignina, 1785 e 2040 nm as combinações C-H, OH e CO ligados a celulose e 1709 nm relacionadas com furanose e piranose das hemiceluloses. Guimarães et al. (2014) em avaliação dos componentes químicos do sorgo com a técnica NIR observaram que as regiões espectrais mais importantes para celulose foram os comprimentos de ondas de 1470 e 1562 nm, relacionados com a vibração O-H, e 1675 nm a ligação C-H, enquanto para hemicelulose, as vibrações O-H no comprimentos de ondas 1428 nm e 1718 nm para C-H. Wang et al. (2015) também observaram as bandas de absorção da celulose na região de 2220-2500 nm, dominada por combinações de C-H e C-C e 1600-1800 nm a C-H.

Em virtude da complexidade deste parâmetro, nota-se que vários grupos químicos podem estar relacionados com a sua matriz química, com absorções em vários comprimentos de ondas, inclusive ligações com N-H, como cita Awuma (2003) a associação das ligações N-H com a digestibilidade. Segundo Van Soest (1994), isso poderia ser explicado pela relação do conteúdo total da matéria orgânica fecal com a parede celular microbiana do rúmen, bem como a matéria microbiana proveniente das secreções endógenas e carboidratos que passaram sem sofrer degradação.

A presença de anidridos derivado do ácido acético, as ligações C-O do grupo de cetoses, e os aldeídos podem ser grupamento químicos resultantes da digestão de carboidratos, bem como a presença do grupo de álcoois secundários, os quais podem ser indicativos de indigestibilidade da fração da parede celular da planta associada a carboidratos (Awuma, 2003). As absorções nas ligações O-H e COOH podem ser também uma indicação com a lignina e os carboidratos estruturais (Fahey e Berger, 1988).

Alguns autores citam outros comprimentos de ondas para relacionar com os carboidratos, proteínas, no entanto, isso já poderia se esperar, pois a composição química das fezes de um animal é diferente de outro, o que pode resultar em diferenças espectrais.

Ademais, a diversidade de plantas forrageiras que podem estar presente na dieta dos animais pode ser um dos fatores que podem gerar estas diferenças.

Observa-se que as regiões ligadas à estrutura da PB são mais específicas quando comparadas com a DIVMO, onde esta pode estar relacionada com várias regiões e vibrações de ligações químicas. Portanto, os resultados para modelar DIVMO se apresentam de forma mais complexa e com menores resultados de desempenho dos modelos.

### **Modelos de amostras compostas de fezes de caprinos e ovinos com diferentes pré-processamentos**

A leitura pela técnica NIRS pode ter interferências às quais são mais comuns as diferenças de granulometria, preparação das amostras e teor de umidade (Burns e Ciurczak, 2008). A presença de um elevado teor de água nas amostras úmidas pode limitar a utilização do equipamento NIR na determinação dos constituintes, uma vez que existem fortes bandas de absorção no espectro causadas pela água em certas regiões espectrais (López et al., 2013).

Assim, foram desenvolvidos modelos utilizando amostras de fezes de caprinos e ovinos, fresca (FF), secas sem moer (FSSM) e secas moídas (FSM) para a análise da influência da umidade, bem como a granulometria, no desempenho dos modelos.

Na Figura 13 são apresentados os espectros brutos e os espectros com aplicação da MSC de 87 amostras compostas de fezes de caprinos e ovinos, coletados em equipamento Perten® DA 7250 NIR, com leitura na faixa de 950 a 1650 nm e intervalo espectral de 5 nm.

É possível verificar uma grande absorção nos comprimentos de ondas de 1435 e 1480 nm, os quais estão relacionados com a vibração da ligação O-H e podem corresponder a presença de água (Figura 13 a e b). Nas amostras secas sem moer (c) e (d) e secas moídas (e) e (f) essa absorção é reduzida em função do processo de secagem, reduzindo assim a umidade da amostra. Cen e He (2007) em avaliação de amostras de vinho branco verificaram uma forte absorção na banda de 1450 nm relacionadas com segundo sobretom O-H da água. Já Cheng e Sun (2016) verificaram combinações de estiramento e flexões relacionadas à água nos comprimentos de ondas de 967, 1435 e 1490 nm como as primeiras combinações de O-H no músculo de peixes, enquanto, Wang et al. (2015) destacam os picos de 1400 a 1500 nm.

Outras bandas de absorção relacionadas à água estão além da faixa espectral que o equipamento Perten pode fazer a leitura, tais como a citada por Roggo et al. (2007), Alexandrakakis et al. (2012) e Kaur et al. (2016), os quais destacam as bandas de absorção O-H, nos comprimentos de ondas de 1940, 1960 e 1936 nm, respectivamente.

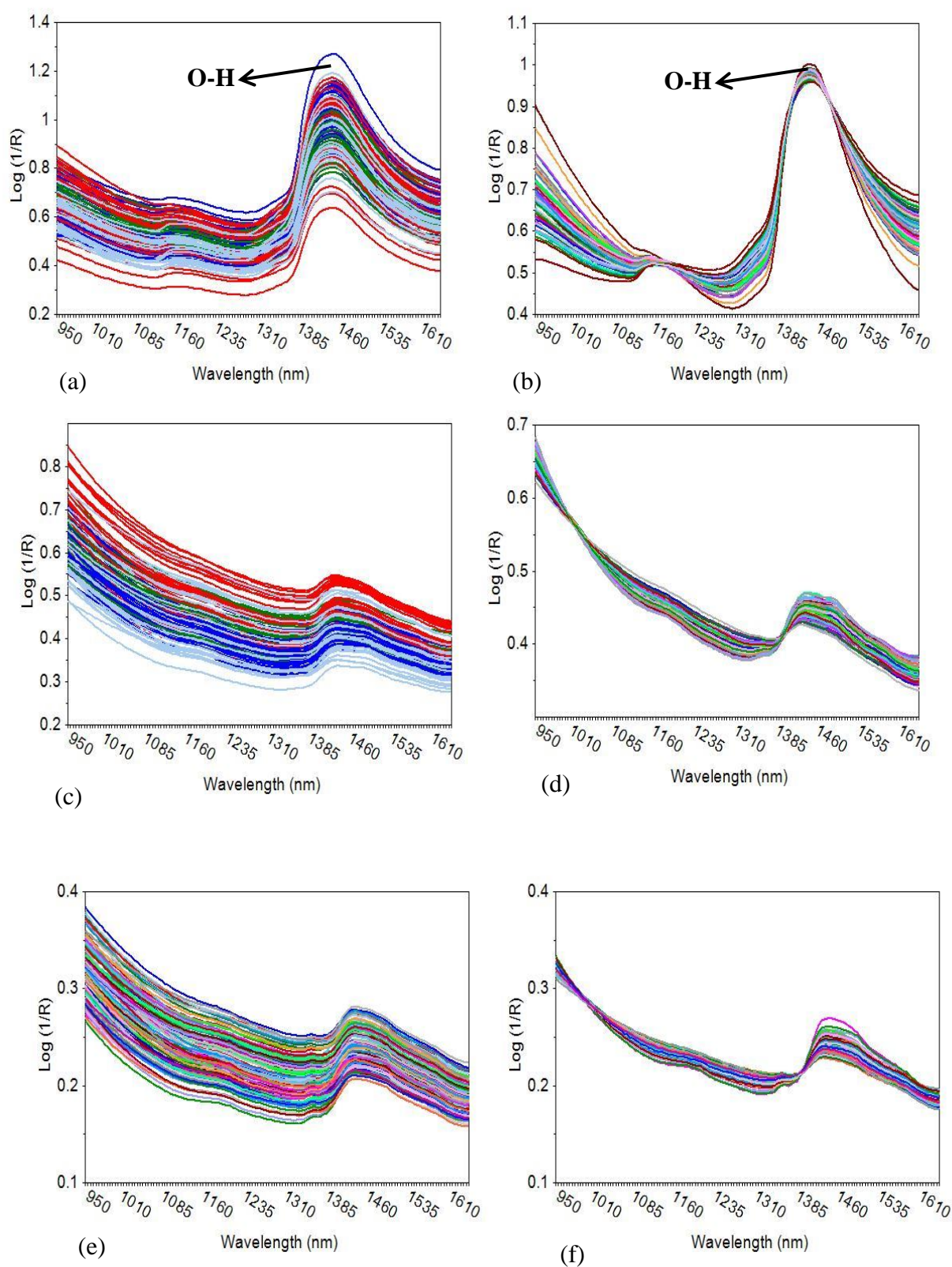


Figura 13 - Espectros brutos de amostras de fezes de caprinos e ovinos e com aplicação do pré-tratamento MSC de amostras frescas (a), (b), secas sem moer (c), (d) e secas moídas (e) e (f).

A identificação das ligações químicas relacionadas à água é importante na interpretação dos espectros gerados bem como na avaliação da sua interferência no desempenho dos modelos. Conforme Wang et al. (2015), o NIR é sensível as ligações O-H, as quais estão presentes na molécula de água, e os espectros podem fornecer informações sobre o teor de água nas amostras estudadas.

Observa-se que em ambos os tipos de processamentos há um espalhamento dos espectros, os quais precisam ser corrigidos com aplicação de pré-tratamentos matemáticos. Para corrigir estes efeitos de espalhamento da luz presentes nos espectros obtidos por reflectância ou efeitos de dispersão foi utilizado a MSC. A aplicação da MSC reduziu o efeito do espalhamento, mas ainda é possível verificar nas amostras frescas, os picos de absorção relacionado com a água (Figura 13 (b), (d) e (f)).

As informações contidas nos espectros gerados pela NIRS são complexas, sendo difícil a percepção das diferenças espectrais entre as amostras quando vistas a olho nu (Lohumi et al., 2015). Assim, a PCA foi realizada para obter uma visão preliminar do comportamento dos dados, revelando as semelhanças e as diferenças entre as amostras com diferentes processamentos. A PCA é um método utilizado na análise exploratória, como uma ferramenta de avaliação inicial da qualidade das informações disponíveis. A partir desta avaliação é possível descobrir que tipo de informação pode-se extrair do conjunto amostral, e assim, definir meios para um tratamento mais aprofundado (Muniz et al., 2012).

No conjunto de amostras compostas, a análise de PCA para os diferentes processamentos (Figura 14) foi responsável pela explicação de 99% da variância nas duas primeiras PCs. Observa um separação de grupos entre os tipos de processamentos, em que as amostras que foram secas ficaram mais próximas, enquanto as amostras frescas apareceram mais distantes. O tipo de processamento influenciou nas diferenças espectrais das amostras o que ocasionou essa separação. Sousa (2016) testaram diferentes tipos de moagem em amostras de carne para verificar o efeito das partículas nos espectros e observou que aquelas amostras que passaram um tempo menor no moinho se aproximaram, enquanto as que passaram mais tempo se distanciaram. Carvalho et al. (2015), em avaliação de amostras de leite em pó, verificaram uma tendência na separação das amostras puras e adulteradas. Ma et al. (2017) avaliaram amostras de um tipo de inhame chinês para verificar a adulteração com amido de milho ou trigo e observaram separação dos grupos, aumentando a medida que se aumentava a contaminação. No entanto, os mesmos observaram que quando estas contaminações foram baixas houve sobreposição das amostras.

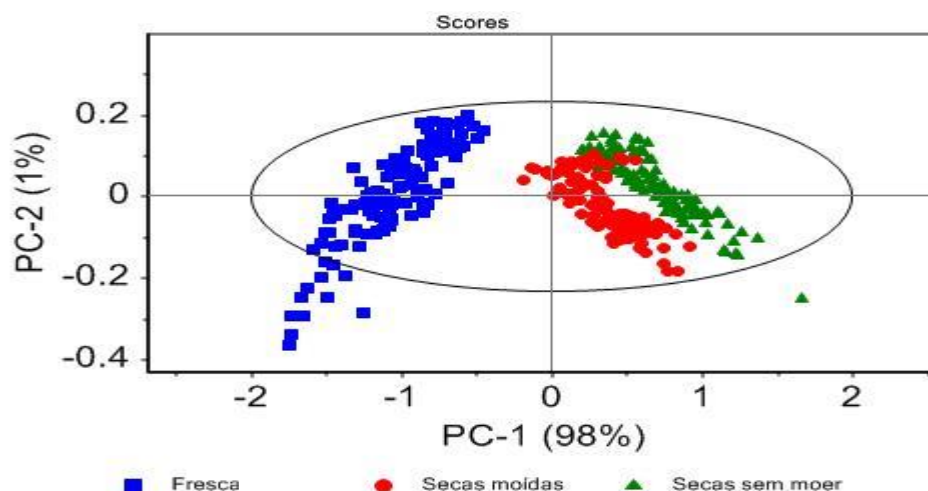


Figura 14 - Gráfico dos escores de PC-1 *versus* PC-2 de amostras compostas de fezes de caprinos e ovinos, pastejando na caatinga com diferentes tipos de pré-processamentos.

A análise de PCA fornece informações de semelhanças ou não das amostras, sendo que o valor numérico para uma determinada variável em uma PC mostra o quanto essa variável tem em comum com esse componente. Para testar o grau de similaridade ou diferenças entre as amostras dos diferentes pré-processamentos foi feita uma análise de classificação baseada na SIMCA, como pode ser observada na Tabela 6.

Tabela 6 - Classificação de amostras de fezes de caprinos e ovinos com diferentes processamentos utilizando SIMCA.

Processamentos	FF	FSSM	FSM
	Acertos/Erros Graus de similaridade (%)		
FF	114/5 95,8	0/119 0	0/119 0
FSSM	0/114 0	108/6 94,73	22/92 19,30
FSM	0/119 0	14/105 11,76	112/7 94,11

Fezes frescas - FF; Fezes secas sem moer - FSSM; Fezes secas moídas - FSM.

Com base na classificação de SIMCA, as amostras apresentaram graus de similaridade de 95,8, 94,73 e 94,11% para amostras de FF, FSSM, FSM, respectivamente, quando testadas no modelo de classificação específica para o tipo de processamento analisado. No entanto, ao avaliar amostras de FF nos modelos de classificação de amostras de FSSM e FSM, houve 0% de similaridade, ou seja, estas se apresentaram diferentes destas classes. O mesmo ocorreu quando avaliou amostras de FSSM e FSM no modelo de classificação das amostras FF. Estes resultados indicam uma alta especificidade dos modelos de classificação utilizando a SIMCA.

Segundo Oliveri et al. (2011) a alta especificidade do modelo indica o percentual de amostras pertencentes a outra categoria que é rejeitado pelo modelo desenvolvido usando as amostras do conjunto de calibração.

O uso da SIMCA como ferramenta de classificação pode identificar amostras como pertencentes a várias classes e não necessariamente a uma classe específica (Balabin et al., 2010). Neste estudo, os modelos de classificação para as amostras FF, FSSM e FSM foram mais específicos, apresentando diferenças entre eles e confirmando o que foi verificado na análise de PCA. A capacidade de um modelo NIRS em separar e classificar as amostras diferentes em uma população é baseada nas respostas vibracionais das ligações químicas a radiação NIRS (Cozzolino et al., 2008). Assim, quanto maior a variação nas entidades químicas (por exemplo, proteína, matéria seca, fibras) que respondem a esta variação dos espectros eletromagnéticos, melhor a precisão do modelo.

Após essa análise, optou-se por desenvolver modelos de PLS para cada grupo de amostras, e assim, avaliar o desempenho de cada um separadamente. Na Tabela 7 são apresentados os modelos de calibração, validação cruzada e validação externa utilizando a regressão de PLS, para estimar os valores de PB e DIVMO das amostras de fezes, com diferentes processamentos.

Tabela 7 - Modelos de calibração e validação utilizando a regressão de PLS para digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO) e proteína bruta (PB) de amostras de fezes de caprinos e ovinos com diferentes processamentos.

Parâmetros	Calibração				Validação		Predição	
	R <sup>2</sup>	RMSEC	N	Nº fatores	R <sup>2</sup>	RMSECV	R <sup>2</sup>	RMSEP
<i>Fezes Frescas</i>								
PB	0,91	1,31	84	10	0,85	1,72	0,77	1,55
DIVMO	0,75	3,79	87	10	0,56	5,19	0,46	5,06
<i>Fezes secas sem moer</i>								
PB	0,79	1,89	81	5	0,74	2,14	0,75	1,91
DIVMO	0,73	3,53	86	10	0,71	4,22	0,51	4,94
<i>Fezes secas moídas</i>								
PB	0,92	1,04	82	10	0,87	1,39	0,86	1,72
DIVMO	0,82	3,28	87	8	0,78	3,80	0,58	3,79

Número de amostras - N; Número de fatores - Nº fatores; Coeficiente de determinação - R<sup>2</sup>; Raiz quadrada do erro médio da calibração - RMSEC; Raiz quadrada do erro médio da validação cruzada - RMSECV; Raiz quadrada do erro médio da predição - RMSEP; Proteína bruta - PB; Digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica - DIVMO.

Observa-se o mesmo comportamento dos modelos desenvolvidos no Perten em relação aos modelos feitos com o equipamento Foss, onde os valores de PB apresentaram melhores desempenhos em relação à DIVMO, independente do tipo de processamento da amostra. Como discutido anteriormente, isso pode ser relacionado com a complexidade da matriz química da DIVMO, em relação a PB.

Os modelos com as amostras secas e moídas apresentaram maior  $R^2$  para calibração e validação cruzada e menor RMSEC e RMSECV tanto para PB quanto DIVMO em relação às amostras frescas e secas sem moer (Tabela 7). Estes resultados mostram a importância do procedimento de secagem e moagem no preparo da amostra. Conforme Chen et al. (2013) estas diferenças de tamanho das partículas podem causar espalhamento da luz resultando em alteração na expressão dos picos de absorção. Já a secagem reduz as dificuldades associado à forte absorção por água na faixa NIR (Dixon e Coates, 2015).

O modelo de PB para amostras frescas apresentaram um  $R^2$  de calibração de 0,91, enquanto para as secas sem moer foi de 0,79. No entanto, os modelos para amostras frescas se mostraram mais complexos, com a utilização de 10 fatores, enquanto para secas sem moer foram usados apenas 5. Já para a DIVMO, o desempenho dos modelos para fezes secas sem moer foram melhores em relação às amostras frescas.

Em relação aos valores de predição, as amostras secas moídas apresentaram maior  $R^2$  e menor RMSEP quando comparados aos modelos para com amostras de fezes frescas e secas sem moer, para ambos os parâmetros avaliados (Tabela 7). A forte absorção no pico relacionado à água, bem como as diferenças de granulometria podem ter comprometido um melhor desempenho nas amostras frescas e secas sem moer. Assim, como nos modelos desenvolvidos pelo equipamento NIR Foss, os modelos para PB com diferentes processamentos das amostras em equipamento NIR Perten apresentaram melhores resultados quando comparados com a determinação da DIVMO.

O tamanho das partículas em uma amostra pode influenciar o espectro gerado, pois o  $\log(1/R)$  aumenta com o aumento do tamanho da partícula, em razão do maior percurso óptico, resultando no deslocamento da linha de base, o que pode comprometer o melhor desempenho do modelo (Almeida, 2009). A presença de um elevado teor de água nas amostras úmidas também pode limitar a utilização da técnica NIRS, uma vez que existem fortes bandas de absorção no espectro causadas pela água em certas regiões espectrais (López et al., 2013), podendo sobrepor informação importante ou mesmo serem confundidas e correlacionadas no processo de regressão (Sousa, 2016).



Os modelos para fezes frescas e secas sem moer apesar de apresentarem um desempenho mais baixo quando comparado com as amostras de fezes secas moídas, apresentaram  $R^2$  razoável, principalmente para PB. Esses resultados mostram a aplicabilidade da técnica NIRS em diferentes produtos, inclusive aqueles com altos teores de umidade, como foi relatado nos trabalhos de Xu et al., 2012; Fan et al., 2016; Torres et al., 2017, os quais mostraram que apesar da influência da água, ele pode ser utilizado para amostras com teores mais altos de água. Reddersen et al. (2013) relataram que amostras que apresentaram menor grau de preparação da amostra, ainda forneceram capacidade de previsão aceitável para os teores de nitrogênio, cinzas e FDN.

Quanto ao número de fatores, com exceção das amostras secas sem moer para o parâmetro de PB, todos os modelos apresentaram entre 8 e 10 fatores. A seleção do número de fatores é importante porque o modelo deve descrever as fontes significativas de variância sem armazenar informação desnecessária ou não correlacionada com a propriedade. Os modelos deste estudo se mostraram mais complexos, no entanto, para a PB conseguiram um baixo RMSEP. Conforme Oliveira (2014), os erros de validação muito superiores aos erros de calibração indicam modelos sobreajustados.

Em ambos os modelos com os diferentes processamentos das amostras há a necessidade de manutenção desses modelos periodicamente, com a inclusão de amostras de referência, com a finalidade de aumentar a robustez e aperfeiçoar as previsões em um processo de controle de qualidade.

## CONCLUSÕES

A espectroscopia NIR associada à quimiometria é capaz de prever com precisão e exatidão a qualidade da dieta de caprinos e ovinos em pastejo na caatinga cearense, constituindo uma ferramenta viável para ser utilizada no monitoramento da dieta de pequenos ruminantes em pasto de caatinga.

O desenvolvimento dos modelos com a inclusão de diferentes variáveis (espécie animal, período do ano, diversidade de espécies vegetais) é eficiente na predição dos parâmetros de proteína bruta e digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica da dieta de caprinos e ovinos.

Os modelos para o parâmetro de proteína bruta apresentam melhores resultados em relação à digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica, independente dos modelos com amostras individuais ou compostas.

O uso da ferramenta de seleção dos comprimentos de ondas mais importantes associada à retirada de amostras *outliers* aumenta a capacidade de predição do modelo.

A técnica NIRS é capaz de classificar entre as amostras de fezes, os diferentes períodos do ano e os processamentos das amostras, indicando as diferenças de grupos químicos na composição destas amostras.

A qualidade dos modelos de calibração, validação e predição aumenta com os procedimentos de secagem e moagem das amostras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGELET, L. E.; HURBURGH JÚNIOR, C. R. Limitations and current applications of Near Infrared Spectroscopy for single seed analysis. **Talanta**, v. 212, p. 288-299, 2014.
- ALEXANDRAKIS, D.; DOWNEY, G.; SCANNELL, A. G. Rapid non-destructive detection of spoilage of intact chicken breast muscle using near-infrared and fourier transform mid-infrared spectroscopy and multivariate statistics. **Food Bioprocess Technology**, v. 5, n. 1, p. 338-347, 2012.
- ALLEN, M. S. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. **Journal Animal Science**, v. 74, p. 3063-3075, 1996.
- ALMEIDA, F. **Espectroscopia de infravermelho próximo com transformada de fourier na caracterização de farinhas para alimentação pueril**. 2009. 84 f. Tese (Doutorado), Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2009.
- ALOMAR, D. et al. Chemical and discriminant analysis of bovine meat by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS). **Meat Science**, v. 63, p. 441-450, 2003.
- ALTHAUS, B.; PAPKE, G.; ALBERT, S. Technical note: Use of near infrared reflectance spectroscopy to assess nitrogen and carbon fractions in dairy cow feces. **Animal Feed Science**, v. 185, n. 1-2, p. 53-59, 2013.
- AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). **Official methods of analysis**. 15. ed. Washington: AOAC, 1990.
- ARAÚJO FILHO, J. A. et al. Composição botânica e química da dieta de ovinos e caprinos em pastoreio combinado na região dos Inhamuns, Ceará. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 25, p. 383-395, 1996.
- ARAÚJO FILHO, J. A.; CRISPIM, S. M. A. **Pastoreio combinado de bovinos, caprinos e ovinos em áreas de caatinga no Nordeste do Brasil**. In: CONFERÊNCIA VIRTUAL GLOBAL SOBRE PRODUÇÃO ORGÂNICA DE BOVINOS DE CORTE, 2002, Concordia, SC. **Anais...** Corumbá, MS: Embrapa pantanal, 2002. p. 1-7.
- ARAZURI, S. et al. Comparison of different pre-treatments to improve accuracy of total soluble solids content prediction models in grapes using a portable NIR spectrophotometer. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 12, n. 2, p. 218-223, 2014.
- AWUMA, K. S. **Application of nirs fecal profiling and geostatistics to predict diet quality of african livestock**. 2003. 175 f. Dissertação (Mestrado em Philosophy), University Texas A&M, 2003.
- BALABIN, R. M.; SAFIEVA, R. Z.; LOMAKINA, E. L. Gasoline classification using near infrared (NIR) spectroscopy data: comparison of multivariate techniques. **Analytica Chimica Acta**, v. 671, p. 27-35, 2010.

BATISTA, F. R. R. **Uso potencial do infravermelho próximo na discriminação de madeira e carvão de espécies da caatinga**. 2016. 91 f. Tese (Doutorado), Universidade de Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

BORRAS, E. et al. Data fusion methodologies for food and beverage authentication and quality assessment - a review. **Analytica Chimica Acta**, v. 891, p. 1-14, 2015.

BROWN, C. D.; VEGA-MONTOTO, L.; WENTZELL, P. D. Derivative preprocessing and optimal corrections for baseline drift in multivariate calibration. **Applied Spectroscopy**, v. 54, n. 7, p. 1055-1068, 2000.

BURNS, D. A.; CIURCZAK, W. **Handbook of near infrared analysis**. 3. ed. PCM, 2008. 836 p.

CARNEIRO, M. E. **Classificação de lâminas de madeira de *pinus spp* por espectroscopia óptica**. 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

CARVALHO, B. M. A. et al. Rapid detection of whey in milk powder samples by spectrophotometric and multivariate calibration. **Food Chemistry**, v. 174, p. 1-7, 2015.

CEARÁ. Secretaria de Planejamento e Gestão Seplag. **Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - Ipece**, 2016. Fortaleza, 2016. Disponível em: <[http://www.ipece.ce.gov.br/perfil\\_basico\\_municipal/2016/Independencia.pdf](http://www.ipece.ce.gov.br/perfil_basico_municipal/2016/Independencia.pdf)>. Acesso em: 19 abr. 2017.

CEN, H.; HE, Y. Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 18, p. 72-83, 2007.

CHANG, C. W. et al. Near-infrared reflectance spectroscopy principal components regression analysis of soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, p. 480-490, 2001.

CHEN, J. B.; SUN, S. Q.; ZHOU, Q. Direct observation of bulk and surface chemical morphologies of Ginkgo biloba leaves by Fourier transform mid- and near-infrared microspectroscopic imaging. **Analytical Bioanalytical Chemistry**, v. 405, p. 9385-9400, 2013.

CHENG, J. H.; SUN, D. W. D. Partial least squares regression (PLSR) applied to NIR and HSI spectral data modeling to predict chemical properties of fish muscle. **Food Engineering Reviews**, v. 9, p. 36-49, 2016.

COLEMAN, S. **Historic Overview for Fecal NIRS Analysis**. Shining Light on Manure Improves Livestock and Land Management Technical Bulletin, 2010.

COZZOLINO, D. et al. Verification of silage type using near-infrared spectroscopy combined with multivariate analysis. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, p. 79-83, 2008.

COZZOLINO, D. et al. A brief introduction to multivariate methods in grape and wine analysis. **International Journal of Wine Research**, v. 1, p. 123-130, 2009.

COZZOLINO, D. et al. Multivariate data analysis applied to spectroscopy: Potential application to juice and fruit quality. **Food Research International**, v. 44, p. 1888-1896, 2011.

DARDENNE, P. Some considerations about NIR spectroscopy: Closing speech at NIR-2009. **NIR News**, v. 21, p. 8-14, 2010.

DECRUYENAERE, V. et al. Evaluation of green forage intake and digestibility in ruminants using near infrared reflectance spectroscopy (NIRS): Developing a global calibration. **Animal Feed Science and Technology**, v. 148, p. 138-156, 2009.

DECRUYENAERE, V. et al. Faecal near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) compared with other techniques for estimating the in vivo digestibility and dry matter intake of lactating grazing dairy cows. **Animal Feed Science and Technology**, v. 173, p. 220-234, 2012.

DECRUYENAERE, V. et al. **Evaluation of the repeatability of near infrared reflectance spectroscopy applied to faeces for predicting diet characteristics of grazing ruminants.** In: ICNIRS, 2013. p. 1-5.

DESPAGNE, D. L. et al. "Intersite transfer of industrial calibration models". **Analytica Chimica Acta**, v. 406, p. 233-245, 2000.

DIXON, R. M.; COATES, D. B. **Application of faecal near infrared spectroscopy to manage the nutrition and productivity of grazing ruminants.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FORAGES IN WARM CLIMATES, 2015.

ELMASRY, G.; SUN, D. W.; ALLEN, P. Near-infrared hyperspectral imaging for predicting colour, pH and tenderness of fresh beef. **Journal of Food Engineering**, v. 110, n. 10, p. 127-140, 2012.

ENGEL, J. et al. Breaking with trends in pre-processing? **Trends in Analytical Chemistry**, v. 50, p. 96-106, 2013.

FAHEY, J. G. C.; BERGER, L. L. Carbohydrate nutrition of ruminants. In: D. C. Church (ed). **The ruminant animal: digestive physiology and nutrition.** Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1988. p. 269-297.

FAN, S. et al. Effect of spectrum measurement position variation on the robustness of NIR spectroscopy models for soluble solids content of apple. **Biosystems engineering**, v. 143, p. 9-19, 2016.

FEITOSA, F. L. F. **Semiologia Veterinária.** 2. ed., São Paulo: Roca, 2008.

FENG, Y. Z. et al. Towards improvement in classification of *Escherichia coli*, *Listeria innocua* and their strains in isolated systems based on chemometric analysis of visible and near-infrared spectroscopic data. **Journal of Food Engineering**, v. 149, p. 87-96, 2015.

FERREIRA, M. M. C. **Quimiometria** - Conceitos, Métodos e Aplicações. 1. ed. Campinas. Unicamp, 2015.

GÁLVEZ-CERÓN, A. et al. Predicting seasonal and spatial variations in diet quality of Pyrenean chamois (*Rupicapra pyrenaica pyrenaica*) using near infrared reflectance spectroscopy. **European Journal of Wildlife Research**, v. 121, p. 59-115, 2013.

GELADI, P.; KOWALSKI, B. R. Partial least regression: a tutorial. **Analytica Chimica Acta**, v. 185, n. 1, 1986.

GINDRI, M. **Uso do NIRS como ferramenta de diagnóstico nutricional de ovinos mantidos em pastagem natural**. 2016. 77 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2016.

GUIMARÃES, C. C. et al. Use of NIRS to predict composition and bioethanol yield from cell wall structural components of sweet sorghum biomass. **Microchemical Journal**, v. 117, p. 194-201, 2014.

HOLECHECK, J. L.; VAVRA, M.; PIEPER, R. D. Methods for determining the nutritive quality of range ruminant diets: A review. **Journal of Animal Science**, v. 54, n. 2, p. 363-376, 1982.

HOLLOWAY, J. W.; ESTELL, R. E.; BUTTS, W. T. Relationship between fecal components and forage consumption and digestibility. **Journal of Animal Science**, v. 52, p. 836-848, 1981.

ILLIUS, A. W.; JESSOP, N. S. Metabolic constraints on voluntary intake in ruminants. **Journal Animal Science**, v. 74, p. 3052-3062, 1996.

JANCEWICZ, L. J. et al. Predicting fecal nutrient concentrations and digestibilities and growth performance in feedlot cattle by near-infrared spectroscopy. **Journal Animal Science**, v. 95, p. 455-474, 2017.

JOHNSON, J. R. **Application of fecal near infrared reflectance spectroscopy and n alkane labeled supplementation techniques to predict voluntary intake in beef cattle**. 2014. 174 f. Tese (Doutorado em Ciência), Universidade Texas A&M, 2014.

JOHNSON, J. R. et al. Application of fecal near-infrared reflectance spectroscopy profiling for the prediction of diet nutritional characteristics and voluntary intake in beef cattle. **Journal Animal Science**, v. 95, p. 447-454, 2017.

JONES, R. J.; LASCANO, C. E. O esophageal fistulated cattle can give unreliable estimates of the proportion of legume in the diets of resident animals grazing tropical pastures. **Grass and Forage Science**, v. 47, p. 128-132, 1992.

KAUR, B.; SANGHA, M. K.; KAUR, G. Calibration of NIRS for the estimation of fatty acids in *Brassica Juncea*. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 93, n. 5, p. 673-680, 2016.

KNEEBONE, D. G.; DRYDEN, A. B. D. Prediction of diet quality for sheep from faecal characteristics: comparison of near-infrared spectroscopy and conventional chemistry predictive models. **Animal Production Science**, v. 55, p. 1-10, 2015.

LANDAU, S. Y. et al. Faecal near-IR spectroscopy to determine the nutritional value of diets consumed by beef cattle in east Mediterranean rangelands. **Animal**, v. 10, n. 2, p. 192-202, 2016.

LEITE, E. R.; STUTH, J. W. Fecal NIRS equations to assess diet quality of free ranging goats. **Small Ruminant Research**, v. 15, n. 3, p. 223-230, 1995.

LOHUMI, S. et al. A review of vibrational spectroscopic techniques for the detection of food authenticity and adulteration. **Trends Food Science Technology**, v. 46, p. 85-98, 2015.

LÓPEZ, A. et al. A review of the application of near-infrared spectroscopy for the analysis of potatoes. **Agricultural Food Chemistry**, v. 61, n. 23, p. 5413-5424, 2013.

LUO, Y. et al. Rapid quantification of multi-components in alcohol precipitation liquid of *Codonopsis Radix* using NIR spectroscopy. **Journal of Zhejiang University (Biomedicine & Biotechnology)**, v. 18, n. 5, p. 383-392, 2016.

LYONS, R. K.; STUTH, J. W. Fecal NIRS equations for predicting diet quality of free-ranging cattle. **Journal Range Manage**, v. 45, p. 238-244, 1992.

LYRA, W. S. et al. Classificação periódica: um exemplo didático para ensinar análise de componentes principais. **Química Nova**, v. 33, p. 1594-1597, 2010.

MA, H. L. et al. Rapid authentication of starch adulterations in ultrafine granular powder of Shanyao by near-infrared spectroscopy coupled with chemometric methods. **Food Chemistry**, v. 215, p. 108-115, 2017.

MARTENS, H.; NAES, T. **Multivariate calibration**. New York: John Wiley and Sons Ltd., Co, 1996.

MOGHIMI, A. et al. Vis/NIR spectroscopy and chemometrics for the prediction of soluble solids content and acidity (pH) of kiwifruit. **Biosystems Engineering**, v. 106, p. 295-302, 2010.

MUÑIZ, B. et al. Fundamentos e estado da arte da espectroscopia no infravermelho próximo no setor de base florestal. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 4, p. 865-875, 2012.

MURRAY, I.; WILLIAMS, P. C. Chemical principles of near-infrared technology. In: WILLIAMS, P.; NORRIS, K (eds). **Near infrared technology in agricultural and food industries**. Amer. Assoc. of Cereal Chem., Inc. St. Paul, Minn, 1987. p. 17-34.

NAES, T. et al. A user-friendly guide to multivariate calibration and classification. **Journal of Chemometrics**, v. 17, p. 221-259, 2002.

NICOLAI, B. M. et al. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: a review. **Postharvest Biology and Technology**, v. 46, n. 2, p. 99-118, 2007.

NÚÑEZ-SÁNCHEZ, N. et al. Evaluation of botanical and chemical composition of sheep diet by using faecal near infrared spectroscopy. **Animal Feed Science and Technology**, v. 222, p. 1-6, 2016.

OLIVEIRA, A. D. P. **Utilização de métodos quimiométricos para análise quantitativa de glibenclamida comprimido utilizando as espectroscopias de infravermelho próximo e raman - desenvolvimento e validação de uma estratégia de pat.** 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

OLIVERI, P. et al. Analytical methods application of class-modelling techniques to near infrared data for food authentication purposes. **Food Chemistry**, v. 125, p. 1450-1456, 2011.

OLSON, K. C. Diet sample collection by esophageal fistula and rumen evacuation techniques. **Journal of Range Management**, v. 44, n. 5, p. 515-519, 1991.

OSBORNE, B. G. **Near-infrared spectroscopy in food analysis.** In: **ENCYCLOPEDIA OF ANALYTICAL CHEMISTRY.** John Wiley & Sons, Ltd. 2006.

OTTAVIAN, M. et al. Application of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) on faecal samples from lactating dairy cows to assess two levels of concentrate supplementation during summer grazing in alpine pastures. **Animal Feed Science and Technology**, v. 202, p. 100-105, 2015.

PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 14, n. 2, p. 198-219, 2003.

PEREIRA FILHO, J. M. et al. Manejo da caatinga para produção de caprinos e ovinos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 1, p. 77-90, 2013.

PONTES, M. J. C. et al. Classification of distilled alcoholic beverages and verification of adulteration by near infrared spectrometry. **Food Research International**, v. 39, p. 182-189, 2006.

PROVENZA, F. D. et al. Linking herbivore experience, varied diets, and plant biochemical diversity. **Small Ruminant Research**, v. 49, p. 257-274, 2003.

REDDERSEN, B.; FRICKE, T.; WACHENDORF, M. Effects of sample preparation and measurement standardization on the NIRS calibration quality of nitrogen, ash and NDF of content in extensive experimental grassland biomass. **Animal Feed Science and Technology**, v. 183, p. 77-85, 2013.

ROGGO, Y. et al. A review of near infrared spectroscopy and chemometrics in pharmaceutical technologies. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 44, p. 683-700, 2007.

RUSSEL, M. L. et al. Grazing distribution and diet quality of angus, brangus, and brahman cows in the Chihuahuan desert. **Rangeland Ecology & Management**, v. 65, n. 4, p. 371-381, 2012.



SABIN, J. G.; FERRÃO, M. F.; FURTADO, J. C. Análise multivariada aplicada na identificação de fármacos antidepressivos, Parte II: análise por componentes principais (PCA) e o método de classificação SIMCA. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 40, n. 3, 2004.

SCHIBORRA, A. et al. Using faecal near-infrared spectroscopy (FNIRS) to estimate nutrient digestibility and chemical composition of diets and faeces of growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 210, p. 234-242, 2015.

SENGER, C. C. D. et al. Evaluation of autoclave procedures for fibre analysis in forage and concentrate feedstuffs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 146, p. 169-174, 2008.

SHEEHY, D. P. et al. **Monitoring change on Mongolian rangelands**. Final report for Netherlands-Mongolia Environmental Trust Fund for Environmental Reform (*NEMO*). 156 p. 2012.

SHOWERS, S. E. et al. Predicting diet quality of white-tailed deer via NIRS fecal profiling. **Rangeland Ecology & Management**, v. 59, n. 3, p. 300-307, 2006.

SIESLER, H. W. et al. **Near Infrared Spectroscopy: Principle, Instrumentation and Applications**. John Wiley-VCH, Weinheim, Germany, 2002.

SOUZA, A. M.; POPPI, R. J. Experimento didático de quimiometria para análise exploratória de óleos vegetais comestíveis por espectroscopia no infravermelho médio e análise de componentes principais: um tutorial, parte I. **Química nova**, v. 35, n. 1, p. 223-229, 2012.

SOUSA, J. S. **Desenvolvimento de modelos de calibração multivariada em espectroscopia de infravermelho próximo para ácidos graxos em amostras de carne bovina**. 2016. 134 f. Mestrado (Química), Universidade Federal de São Carlos, SP, 2016.

SUN, D. W. **Infrared Spectroscopy for food quality analysis and control**. 1. ed. Dublin: Academic Press, 2009. 415 p.

TELLADO, S. et al. Fecal-FT-NIRS as a non-invasive tool for assessing diet quality of mediterranean deer. **Rangeland Ecology & Management**, v. 68, n. 1, p. 92-99, 2015.

TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. **Journal of British Grassland Society**, v. 18, n. 2, p. 104-111, 1963.

TOLLESON, D. R.; SCHAFER, D. W. Application of fecal near-infrared spectroscopy and nutritional balance software to monitor diet quality and body condition in beef cows grazing Arizona rangeland. **Journal Animal Science**, v. 92, n. 1, p. 349-358, 2014.

TORRES, I. et al. Developing universal models for the prediction of physical quality in citrus fruits analysed on-tree using portable NIRS sensors. **Biosystems engineering**, v. 153, p. 140-148, 2017.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. New York, 476 p., 1994.

VAN VLIET, P. C. et al. Effects of cow diet on the microbial community and organic matter and nitrogen content of feces. **Journal Dairy Science**, v. 90, p. 5146-5158, 2007.

VIEGAS, T. R. et al. Determination of quality attributes in wax jambu fruit using NIRS and PLS. **Food Chemistry**, v. 190, p. 1-4, 2016.

WANG, T. et al. Application of multivariate strategies to the classification of pharmaceutical excipient manufacturers based on near-infrared (NIR) spectra. **Applied Spectroscopy**, v. 69, n. 11, p. 1257-1270, 2015.

WILLIAMS, P. C.; SOBERING, D. C. Comparison of commercial near infrared transmittance and reflectance instruments for analysis of whole grains and seeds. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 1, n. 1, p. 25-33, 1993.

WILLIAMS, P. C. Implementation of near-infrared technology. In: WILLIAMS, P. C.; NORRIS, K. H. (Ed). **Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries**. 2. ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 2001. p. 145-169.

WILLIAMS, P. **Near-infrared technology, getting the best out of light**. A short course in the practical implementation of Near-infrared spectroscopy for the user. PDK Grain, Nanaimo, British Colombia, and Winnipeg, Manitoba, Canada, 2004. p. 12-13.

WINDHAM, W. R.; MERTENS, D. R.; BARTON, F. R. Protocol for NIRS calibration: Sample selection and equation development and validation. In: MERTENS, C. G.; SHENK, J. S.; BARTON, F. E. (Eds.), **Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS): Analysis of forage quality**. Washington, DC:USDA-ARS: Agricultural Handbook, 1989. p. 96-103.

XU, H. et al. Variable selection in visible and near-infrared spectra: Application to online determination of sugar content in pears. **Journal of Food Engineering**, v. 109, p. 142-147, 2012.

ZOU, X. B. et al. Variables selection methods in near-infrared spectroscopy. **Analytica Chimica Acta**, v. 667, p. 14-32, 2010.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES

A partir deste trabalho pode-se perceber que há uma grande variação da pastagem na caatinga relacionada à composição do pasto em termos de espécies e valor nutricional, bem como a disponibilidade de forragem. A dificuldade operacional de se realizar estas avaliações do pasto podem dificultar uma melhor caracterização em diferentes situações e reduzir o número de trabalhos relacionados com esse tipo de avaliação. O uso de sensoriamento remoto, o qual vem sendo utilizado podem avançar nestas avaliações e trazer respostas mais rápidas para que possam tomar decisões quanto ao melhor manejo da pastagem que vise à sustentabilidade entre as comunidades vegetais e a produção de pequenos ruminantes.

O estudo mais aprofundado sobre a qualidade da dieta de caprinos e ovinos na caatinga, quanto aos aspectos relacionados aos compostos secundários, fracionamento proteico poderá dar mais subsídios ao que realmente será aproveitado pelo animal e conhecer até que ponto os compostos secundários podem interferir no consumo.

Em relação à qualidade da dieta selecionada por pequenos ruminantes, a técnica NIRS mostrou-se promissora podendo ser utilizada para o monitoramento do *status* nutricional de pequenos ruminantes em pastejo em área de caatinga na região do Inhamuns, Ceará. Porém, os modelos devem ser monitorados continuamente e adicionados mais amostras de referências de diferentes lugares e condições ecofisiográficas para o modelo ficar mais robusto e melhorar a previsão.

Os modelos com menos processamentos apesar de terem sido inferiores aqueles com amostras secas e moídas ainda assim mostraram que podem ser utilizados, com redução no custo da análise e maior rapidez dos resultados.

O avanço em termos de instrumentação, a miniaturização do NIR, aliados ao desenvolvimento de mais ferramentas matemáticas e de estatísticas multivariadas, sem dúvida vão garantir a extensão do desenvolvimento e aplicação da técnica tanto na pesquisa quanto no campo.

## **ANEXOS**

## Anexo A - Parecer da Comissão de Ética - CEUA

**Parecer da Comissão de Ética**

CEUA / UVA	Parecer da CEUA	PCEUA
------------	-----------------	-------

De acordo com o Regimento Interno da Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Estadual Vale do Acaraú, Capítulo VI, Art. 31º e em reunião ordinária realizada no dia 20 de fevereiro de 2013, os membros da CEUA UVA concederam ao projeto “*Uso da espectroscopia da refletância do infravermelho próximo (NIRS) para o monitoramento da nutrição de pequenos ruminantes em pasto nativo*”, protocolo nº **032.12**, o parecer “**APROVADO**”.

Informamos que após o recebimento do **Certificado Credenciamento e Autorização para realização do Protocolo - CCARP** o projeto poderá ser realizado.

Sobral 25 de fevereiro de 2013

Dra. Alice Andrioli Pinheiro  
Coordenadora da CEUA/UVA